

**Министерство сельского хозяйства  
Российской Федерации  
ФГБОУ ВО Ставропольский государственный  
аграрный университет**

**Кафедра производства и переработки  
продуктов питания из растительного сырья**

# **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВИНОДЕЛЬЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

*Учебно-методическое пособие  
по проведению лабораторных занятий  
для студентов очной формы обучения  
направления подготовки*

*19.03.02 Продукты питания из растительного сырья*

**Ставрополь  
2016**

УДК 663.28  
ББК 35  
Т 38

**Рецензенты:**

*Гузучкина Т.И.* – д-р с.-х. наук, профессор,  
зав. научным центром виноделия ФГБНУ СКЗНИИСиВ  
*Агеева Н.М.* – д-р техн. наук, профессор, зав. лабораторией стабилизации,  
химии и микробиологии вина ФГБНУ СКЗНИИСиВ

**Составители:**

*Романенко Е.С.* – канд. с.-х. наук, доцент  
*Есаулко Н.А.* – канд. с.-х. наук, доцент  
*Сосюра Е.А.* – канд. техн. наук  
*Селиванова М.В.* – канд. с.-х. наук  
*Нуднова А.Ф.* – ассистент  
*Айсанов Т.С.* – ассистент

Т 38

**Технологическое оборудование винодельческих предприятий:**  
учебно-методическое пособие / сост.: Е.С. Романенко, Н.А. Есаулко,  
Е.А. Сосюра, М.В. Селиванова, А.Ф. Нуднова, Т.С. Айсанов; Став-  
ропольский государственный аграрный университет: кафедра произ-  
водства и переработки продуктов питания из растительного сырья. –  
Ставрополь: Ставропольское издательство «Параграф», 2016. – 88 с.

*Печатается по решению методической комиссии факультета агро-  
биологии и земельных ресурсов Ставропольского государственного аграр-  
ного университета.*

УДК 663.28  
ББК 35

© Составители, 2016.  
© ФГБОУ ВО Ставропольский государственный  
аграрный университет, 2016.  
© Оформление ООО «Ставропольское  
издательство «Параграф», 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| ТЕМА 1. Расчет производительности оборудования для дробления сырья и получения сусла .....  | 4  |
| ТЕМА 2. Расчет оборудования для стекания мезги и получения сусла первой фракции.....  | 11 |
| ТЕМА 3. Расчет оборудования для прессования мезги и получения сусла прессовых фракций.....  | 20 |
| ТЕМА 4. Расчет бродильных аппаратов.....  | 27 |
| ТЕМА 5. Расчет брагоперегонных аппаратов .....  | 35 |
| ТЕМА 6. Расчет смесителя с мешалкой пропеллерного типа .....  | 51 |
| ТЕМА 7. Расчет отстойной и фильтрующей центрифуги.....  | 56 |
| ТЕМА 8. Расчет бутылкомоечной машины.....   | 63 |
| ТЕМА 9. Расчет параметров работы разливочной дозировочной машины .....  | 69 |
| ТЕМА 10. Расчет производительности этикетировочной машины.....  | 75 |
| ТЕМА 11. Машинно-аппаратурная схема линий фасования пива, ликероводочных изделий, безалкогольных напитков и хлебопекарных дрожжей .....     | 78 |
| ТЕМА 12. Машинно-аппаратурная схема производства пива .....   | 80 |
| Литература.....   | 83 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Содержание спирта в водно-спиртовой жидкости, в образующемся из нее паре и температура кипения при атмосферном давлении ..... | 84 |
| Приложение 2. Длительность цикла сбраживания .....  | 86 |

## ТЕМА 1. РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДРОБЛЕНИЯ СЫРЬЯ И ПОЛУЧЕНИЯ СУСЛА

Цель занятия: усвоить теоретические основы дробления сырья винодельческого производства, научиться самостоятельно рассчитывать производительность и мощность дробилок.

Задание:

1. Изучить строение и принцип действия валковых и центробежных дробилок-гребнеотделителей.
2. Рассчитать производительность и мощность валковой дробилки-гребнеотделителя.
3. Рассчитать производительность и мощность ударно-центробежной дробилки-гребнеотделителя.

*1. Строение и принцип действия валковых и центробежных дробилок-гребнеотделителей.*

Дробление винограда представляет собой процесс разрушения целостности кожицы ягод и клеточной структуры для облегчения выхода из них сока. При этом на качество сусла большое влияние оказывает степень измельчения, которая должна обеспечивать максимальную скорость суслоотделения и, по возможности, ограничивать обогащение сусла дубильными веществами, а также взвешенными частицами кожицы, мякоти и т. п.

Дробление винограда осуществляется как с отделением, так и без отделения гребней.

Наибольшее распространение в отечественном виноделии получили валковые (табл. 1), ударно-центробежные (табл. 2) и дробильно-гребнеотделяющие машины. Для измельчения винограда могут применяться также лопастные, молотковые и роторные дробильные машины.

**Таблица 1** – Техническая характеристика валковых дробилок и дробилок-гребнеотделителей для винограда

| Показатель  | ВДГ-10 | ВДГ-20 | ВДВ-20 | ВДВ-30/50 | ВДВ-100 |
|---|--------|--------|--------|-----------|---------|
| Производительность, т/ч                                 | 10     | 20     | 20     | 30...50   | 100     |
| Число валков  | 2      | 2      | 2      | 2         | 4       |
| Диаметр валков, мм                                      | 185    | 200    | 65     | 65...70   | 58      |
| Частота вращения вала гребнеотделителя, с <sup>-1</sup> | 185    | 200    | -      | 145...160 | -       |
| Мощность привода, кВт                                   | 3,0    | 4,0    | 2,2    | 3,0       | 4,5     |

**Таблица 2** – Техническая характеристика ударно-центробежных дробилок-гребнеотделителей для винограда

| Показатель                              | ЦДГ-20А            | ЦДГ-30А            | ЦДГ-50   |
|---|--------------------|--------------------|----------|
| Производительность, т/ч                 | 20                 | 30                 | 50       |
| Диаметр цилиндров, мм:                  |                    |                    |          |
| малого                                  | 410                | 415                | 550      |
| перфорированного                        | 835                | 870                | 1250     |
| Частота вращения валов, с <sup>-1</sup> | 185                | 200                | -        |
| бильного с бичами                       | 275; 350; 425; 500 | 125; 175; 225; 275 | 210; 240 |
| с гребневыносными лопастями             | 275; 350; 425; 500 | 400                | 300      |
| Мощность привода, кВт                   | 7,5                | 10                 | 17       |

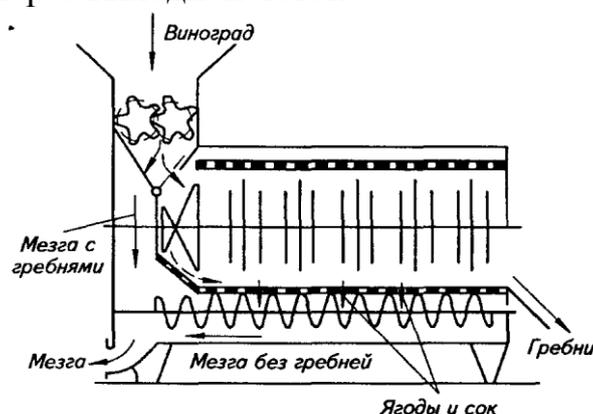
Рабочими органами валковой дробилки-гребнеотделителя являются валки и гребнеотделитель.

Валки бывают цилиндрическими, коническими, кольцевидными и профильными. В дробилках-гребнеотделителях с профильными валками дробление винограда происходит с минимальным перетиранием.

Профильные валки выпускаются четырех-, шести- и восьмилопастные. Валки изготавливают пустотелыми или сплошными из различных материалов: черных металлов с покрытием, алюминия и его сплавов, дерева, камня, резины или обрешиненными.

Гребнеотделитель состоит из горизонтального перфорированного цилиндра, внутри которого на оси смонтирован вал с бичами, установленными по одно- или двухзаходной винтовой линии.

Дробилка-гребнеотделитель ВДГ-20 (рис. 1) работает следующим образом. Когда виноград попадает на валки, дробится и проваливается вниз, заслонка находится в крайнем левом положении. Раздробленная масса винограда перемещается в гребнеотделитель, в котором гребни отделяются от ягод с помощью бичей. Отделенные ягоды проваливаются через отверстия цилиндра на шнек, который выводит их за пределы машины, а гребни удаляются через выходной лоток.



**Рис. 1.** Схема валковой дробилки-гребнеотделителя для винограда

В ударно-центробежных дробилках-гребнеотделителях дробление винограда производится путем удара по нему бича гребнеотделяющего устройства и истирания его о стенки этого устройства при достаточно высоких частотах вращения лопастей.

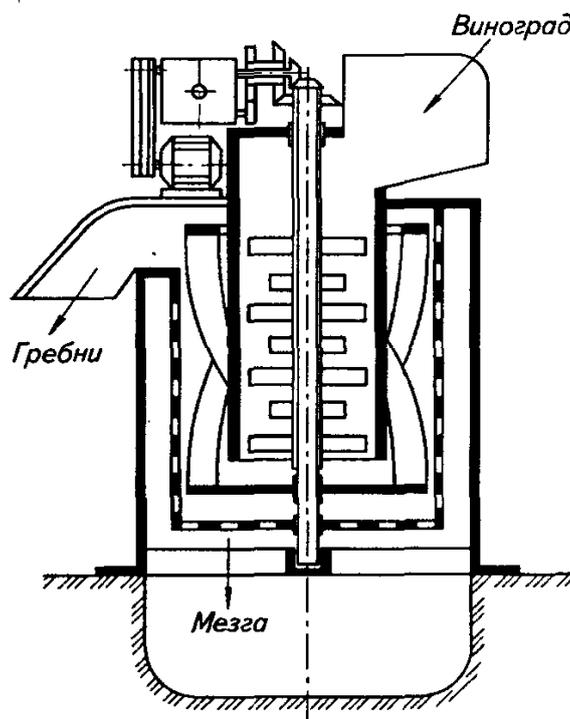


Рис. 2. Схема ударно-центробежной дробилки-гребнеотделителя для винограда

В дробилке-гребнеотделителе ЦДГ-50 (рис. 2) виноград через бункер поступает в малый сплошной цилиндр, где происходит дробление винограда и гребнеотделение в результате вращения дробильных бичей. Причем в нижней части машины виноград отбрасывается центробежной силой на винтообразные гребневыносные лопасти. Раздробленные ягоды винограда проваливаются через перфорации стакана в мезгосборник, а гребни лопастями поднимаются по внутренней поверхности перфорированного цилиндра для последующего выведения их через окно в боковой поверхности корпуса.

## 2. Расчет валковой дробилки-гребнеотделителя.

Производительность (кг/с) дробилки-гребнеотделителя определяется пропускной способностью валков:

$$G = \pi D_{\text{влк}} n_{\text{влк}} l_{\text{влк}} \delta \rho_{\text{вин}} \varphi \quad (1)$$

где  $D_{\text{влк}}$  – диаметр валка, м;  $n_{\text{влк}}$  – частота вращения валка,  $\text{с}^{-1}$ ;  $l_{\text{влк}}$  – длина валка, м;  $\delta$  – зазор между валками, м;  $\rho_{\text{вин}}$  – объемная масса винограда,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\varphi$  – коэффициент, учитывающий неравномерность питания валков продуктом, заполнение щели и т. п.;  $\varphi = 0,7 \dots 0,8$ .

Фактическую производительность валковых дробилок рассчитывают путем введения коэффициентов, учитывающих выделение сока, который опережает основную массу винограда при прохождении его между валками:

$$G_{\phi} = GK_1K_2 \quad (2)$$

где  $K_1$  – коэффициент, учитывающий геометрическую характеристику рабочей поверхности валков;

$$K_1 = \frac{F_{\kappa}}{F} \quad (3)$$

где  $F_{\kappa}$  и  $F$  – соответственно площади поперечного сечения межвалкового пространства крыльчатых и гладких валков;  $K_2$  – коэффициент, учитывающий количество сула, выделяющегося при дроблении и «опережающего» основную массу мезги;

$$K_2 = \frac{100}{(100 - q_0)} \quad (4)$$

где  $q_0$  – коэффициент, зависящий от зазора  $\delta$  между валками (% общего количества продукта):

|               |       |       |       |       |       |       |        |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| $\delta$ , мм | 0,002 | 0,003 | 0,004 | 0,005 | 0,006 | 0,007 | 0,0075 |
| $q_0$ , %     | 32,2  | 31,4  | 30,3  | 28,7  | 24,3  | 14,2  | 8,1    |

При этом площадь поперечного сечения межвалкового пространства гладких валков (рис. 3, а) и крыльчатых валков (рис. 3, б)

$$F = 0,125D_{\text{влк}} \left[ (2d_{\text{яз}} + D_{\text{влк}}) \sin 2\alpha - 0,03488D_{\text{влк}} \alpha \right] \quad (5)$$

где  $d_{\text{яз}}$  – диаметр ягоды, м;  $\alpha$  – угол захвата валков;

$$F_{\kappa} = \beta F_0 = \beta h \left[ \pi / (D_{\text{влк}} - h) / z - S \right] \quad (6)$$

где  $\beta$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от числа выступов  $z$ .

|         |      |   |      |
|---------|------|---|------|
| $z$     | 4    | 6 | 8    |
| $\beta$ | 0,75 | 1 | 1,25 |

$F_0$  – площадь поперечного сечения впадины между двумя соседними выступами, м<sup>2</sup>;

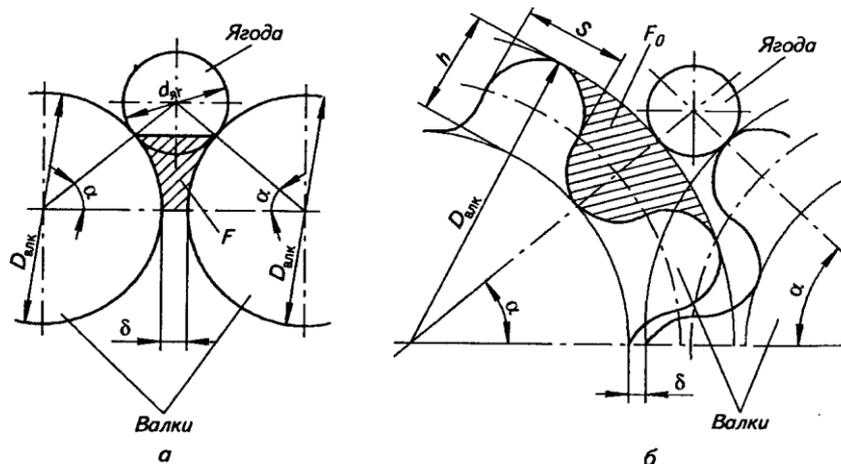


Рис. 3. Геометрические характеристики гладких (а) и крыльчатых (б) валков

$$F_0 = 0,5D_{\text{влк}}^2 \sin \alpha [(1 - \cos \alpha) + \delta] \quad (7)$$

где  $h$  – высота выступа, м;  $S$  – ширина выступа, м.

Мощность (кВт) привода электродвигателя валковой дробилки

$$N = 0,119l_{\text{влк}} D_{\text{влк}} n_{\text{влк}} (120d_{\text{яг}} + D_{\text{влк}}^2)k \quad (8)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий физико-механические свойства винограда, профиль валков и т.д.; для гладких валков  $k = 0,194 \dots 0,338$ ; для крыльчатых валков  $k = 0,194 \dots 0,338$ ;  $d_{\text{яг}}$  – диаметр ягоды, м.

Пример 1. Рассчитать производительность и мощность валковой дробилки-гребнеотделителя с гладкими цилиндрическими валками диаметром  $D_{\text{влк}} = 0,27$  м, длиной  $l_{\text{влк}} = 0,7$  м, частотой вращения  $n_{\text{влк1}} = n_{\text{влк2}} = n_{\text{влк}} = 1,04 \text{ с}^{-1}$  и зазором между валками  $\delta = 0,006$  м, если средний диаметр ягод  $d_{\text{яг}} = 0,012$  м, объемная масса винограда  $\rho_{\text{вин}} = 600 \text{ кг/м}^3$ .

Решение. Производительность валковой дробилки-гребнеотделителя

$$G = 3,14 \cdot 0,27 \cdot 1,04 \cdot 0,006 \cdot 0,7 \cdot 600 \cdot 0,75 = 1,7 \text{ кг/с}$$

Коэффициент, учитывающий геометрическую характеристику рабочей поверхности гладких валков,  $K_1 = 1$ .

Коэффициент, учитывающий количество сусла, выделяющегося при дроблении и «опережающего» основную массу мезги,

$$K_2 = \frac{100}{100 - 24,3} = 1,32$$

Фактическая производительность валковых дробилок

$$G_{\text{ф}} = 1,7 \cdot 1 \cdot 1,32 = 2,25 \text{ кг/с}$$

Мощность электродвигателя привода валковой дробилки

$$N = 0,119 \cdot 0,7 \cdot 0,27 \cdot 62,5(120 \cdot 0,012 + 0,27^2)0,2 = 0,43 \text{ кВт}$$

### 3. Расчет центробежной дробилки-гребнеотделителя.

Производительность (кг/с) центробежной дробилки-гребнеотделителя

$$G = \frac{\pi(D_{\text{лоп}}^2 - d_{\text{цил}}^2)h_{\text{лоп}}\sin\alpha_{\text{лоп}}n_{\text{лоп}}}{4} \rho_{\text{мезг}} \psi \varphi_{\text{сн}} + q \quad (9)$$

где  $D_{\text{лоп}}$  – условный диаметр наклонных лопастей, м;  $d_{\text{цил}}$  – наружный диаметр среднего цилиндра, м;  $h_{\text{лоп}}$  – высота наклоненных лопастей, м;  $\alpha_{\text{лоп}}$  – угол наклона лопастей, град;  $\alpha_{\text{лоп}} = 15...18^\circ$ ;  $n_{\text{лоп}}$  – частота вращения лопастей,  $\text{с}^{-1}$ ;  $n_{\text{лоп}} = 4,58 \text{ с}^{-1}$ ;  $\rho_{\text{мезг}}$  – плотность мезги,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\psi$  – коэффициент заполнения;  $\psi = 0,85$ ;  $\varphi_{\text{сн}}$  – коэффициент, учитывающий снижение окружной скорости и неравномерность подачи;  $\varphi_{\text{сн}} = 0,7$ ;  $q$  – часть мезги и сусла, уходящая через отверстия в дне большого цилиндра в месте подачи винограда шнеком,  $\text{кг}/\text{с}$ ;  $q = 0,083 \text{ кг}/\text{с}$ .

Пример 2. Определить производительность  $G$  ударно-центробежной дробилки-гребнеотделителя, если условный диаметр наклонных лопастей  $D_{\text{лоп}} = 0,695$  м, наружный диаметр среднего цилиндра  $d_{\text{цил}} = 0,554$  м, средняя высота наклонных лопастей  $h_{\text{лоп}} = 0,09$  м, их минимальная частота вращения  $n_{\text{лоп}} = 4,58 \text{ с}^{-1}$ , а плотность мезги  $\rho_{\text{мезг}} = 1060 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Какой должна быть минимальная частота вращения наклонных лопастей при увеличении производительности дробилки на 25 %?

Решение. Производительность дробилки по пропускной способности выгрузочных лопастей для гребней

$$G = \frac{3,14(0,695^2 - 0,554^2)0,09\sin 17^\circ \cdot 4,58}{4} \cdot 1060 \cdot 0,85 \cdot 0,7 + 0,083 = 10,6 \text{ кг}/\text{с}$$

Увеличенная на 25 % производительность центробежной дробилки-гребнеотделителя

$$G' = G + 0,25G = 13,25 \text{ кг}/\text{с}$$

Минимальная частота вращения наклонных лопастей при увеличении производительности центробежной дробилки-гребнеотделителя на 25 %

$$n'_{\text{лоп}} = \frac{(G' + q)4}{\pi(D_{\text{лоп}}^2 - D_{\text{цил}}^2)h_{\text{лоп}}\sin\alpha_{\text{лоп}}\rho_{\text{мезг}}\varphi_{\text{сн}}\psi}$$

$$n' = \frac{(13,25 + 0,083)4}{3,14(0,695^2 - 0,554^2)0,09\sin 17^\circ \cdot 1065 \cdot 0,7 \cdot 0,85} = 5,712 \text{ с}^{-1}$$

#### Задания для самостоятельной работы:

1. Рассчитать производительность и мощность валковой дробилки-гребнеотделителя с гладкими цилиндрическими валками диаметром  $D_{\text{влк}} = 0,32$  м, длиной  $l_{\text{влк}} = 0,5$  м, частотой вращения  $n_{\text{влк1}} = n_{\text{влк2}} = n_{\text{влк}} = 1,042 \text{ с}^{-1}$  и

зазором между валками  $\delta = 0,004$  м, если средний диаметр ягод  $d_{яг} = 0,016$  м, объемная масса винограда  $\rho_{вин} = 600$  кг/м<sup>3</sup>.

2. Определить производительность  $G$  ударно-центробежной дробилки-гребнеотделителя, если условный диаметр наклонных лопастей  $D_{лон} = 0,985$  м, наружный диаметр среднего цилиндра  $d_{цил} = 0,82$  м, средняя высота наклонных лопастей  $h_{лон} = 0,1$  м, их минимальная частота вращения  $n_{лон} = 4,58$  с<sup>-1</sup>, а плотность мезги  $\rho_{мезг} = 1096$  кг/м<sup>3</sup>. Какой должна быть минимальная частота вращения наклонных лопастей при увеличении производительности дробилки на 15 %?

3. Рассчитать производительность и мощность валковой дробилки-гребнеотделителя с гладкими цилиндрическими валками диаметром  $D_{влк} = 0,27$  м, длиной  $l_{влк} = 0,7$  м, частотой вращения  $n_{влк1} = n_{влк2} = n_{влк} = 1,042$  с<sup>-1</sup> и зазором между валками  $\delta = 0,006$  м, если средний диаметр ягод  $d_{яг} = 0,028$  м, объемная масса винограда  $\rho_{вин} = 750$  кг/м<sup>3</sup>.

4. Рассчитать производительность и мощность валковой дробилки-гребнеотделителя с гладкими цилиндрическими валками диаметром  $D_{влк} = 0,32$  м, длиной  $l_{влк} = 0,5$  м, частотой вращения  $n_{влк1} = n_{влк2} = n_{влк} = 1,04$  с<sup>-1</sup> и зазором между валками  $\delta = 0,005$  м, если средний диаметр ягод  $d_{яг} = 0,018$  м, объемная масса винограда  $\rho_{вин} = 640$  кг/м<sup>3</sup>.

5. Определить производительность  $G$  ударно-центробежной дробилки-гребнеотделителя, если условный диаметр наклонных лопастей  $D_{лон} = 1,080$  м, наружный диаметр среднего цилиндра  $d_{цил} = 0,89$  м, средняя высота наклонных лопастей  $h_{лон} = 0,12$  м, их минимальная частота вращения  $n_{лон} = 4,58$  с<sup>-1</sup>, а плотность мезги  $\rho_{мезг} = 1125$  кг/м<sup>3</sup>.

6. Определить минимальную частоту вращения наклонных лопастей ударно-центробежной дробилки-гребнеотделителя при увеличении ее производительности на 20 %, если производительность  $G = 11,7$  кг/с, диаметр наклонных лопастей  $D_{лон} = 0,985$  м, наружный диаметр среднего цилиндра  $d_{цил} = 0,82$  м, средняя высота наклонных лопастей  $h_{лон} = 0,1$  м, плотность мезги  $\rho_{мезг} = 1125$  кг/м<sup>3</sup>.

### Контрольные вопросы:

1. Что называется дроблением?
2. Какие виды дробилок применяются при производстве виноматериалов?
3. Опишите строение и принцип действия валковых и центробежных дробилок-гребнеотделителей.
4. Какие элементы конструкции валковой дробилки-гребнеотделителя служат рабочими органами и как они выполнены?
5. Методика расчета производительности и мощности валковой дробилки-гребнеотделителя.
6. Методика расчета производительности и мощности ударно-центробежной дробилки-гребнеотделителя.

## ТЕМА 2. РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СТЕКАНИЯ МЕЗГИ И ПОЛУЧЕНИЯ СУСЛА ПЕРВОЙ ФРАКЦИИ

**Цель занятия:** усвоить теоретические основы стекания, экстрагирования и брожения мезги винограда, научиться самостоятельно рассчитывать производительность и мощность шнековых стекателей.

### Задание:

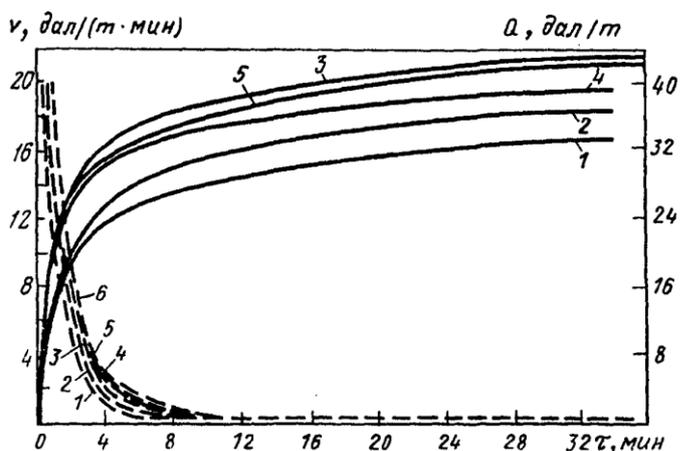
1. Изучить строение и принцип действия шнековых стекателей.
2. Изучить строение и принцип действия экстракторов.
3. Рассчитать производительность и мощность шнекового стекателя.

### 1. Строение и принцип действия шнековых стекателей.

Отделение сусла первой фракции (самотека) имеет целью помимо получения продукта высшего качества облегчить прессование мезги. Суслосамотек (или сусло первой фракции) используется для приготовления лучших марочных вин. Норма отбора сусла первой фракции, получаемого на стекателях из 1 тонны винограда, 50-55 дал при общем количестве сусла 75-80 дал.

В последнее время при производстве отдельных типов обогащения сусла экстрактивными и ароматическими веществами применяют специальные аппараты – так называемые настойники. Для получения красных вин по определенной схеме применяют экстракторы, обеспечивающие более полный переход в виноматериал красящих и дубильных веществ.

Стекание сусла из мезги можно рассматривать как гидродинамический процесс течения жидкости через пористую среду, который сопровождается более или менее полным разделением твердой и жидкой фаз суспензии. Изучение динамики процесса суслоотделения через перфорированную перегородку при гравитационно-статическом воздействии на мезгу показало, что в течение первых 3-6 минут скорость суслоотделения и выход сусла характеризуются очень высокой интенсивностью, а затем процесс замедляется (рис. 1). В первые 6-8 мин отделяется 85-95% всего сусла-самотека. Дальнейшее извлечение сусла без интенсификации процесса малоэффективно.



**Рис. 1.** Динамика процесса извлечения сусла-самотека из мезги, полученной из сортов винограда с разной сахаристостью (в %): 1 – Альбилю – 19,5; 2 и 3 Матраса 29,3 и 19,6; 4 – Цимлянский черный – 24,2; 5 – Саперави – 19,8; 6 – Гибрид 217 – 20,5; ----- выход сусла  $Q$ ; - - - - скорость процесса  $v$

Форма отверстий и их меньшие определяющие размеры в диапазоне 2-4 мм не оказывают существенного влияния на скорость процесса суслоотделения, хотя увеличение размеров отверстий вызывает некоторое возрастание концентрации взвесей в сусле, а при круглых отверстиях диаметром 5 мм и более приводит к попаданию в сусло семян и кожицы ягод. Если определяющие размеры отверстий меньше 2 мм, отверстия забиваются мякотью ягод, что значительно снижает скорость суслоотделения.

Величина живого сечения (отношение площади отверстий на поверхности к общей площади поверхности) перфорированной перегородки выше 10% не влияет на процесс суслоотделения и качественные показатели сусла, ниже 10% – снижает скорость суслоотделения и содержание взвесей в сусле.

Рыхление мезги интенсифицирует процесс суслоотделения, но ухудшает качество получаемого сусла.

Уплотненный слой мезги, образующийся на перфорированной перегородке, оказывает на процесс суслоотделения значительно большее влияние, чем перечисленные выше факторы. Величина этого слоя и его способность оказывать сопротивление проходящему через него суслу являются определяющими условиями процесса суслоотделения, что позволяет использовать для его расчета известные закономерности процесса разделения суспензий фильтрованием.

Установленные закономерности процесса свободного отделения позволили определить оптимальный режим работы стекателей. В первый период (6-8 мин) отделение сусла должно производиться только под действием гравитационных сил без механического воздействия на мезгу. Однако такое отделение не обеспечивает необходимый по технологическим условиям выход сусла-самотека в 50-55 дал/т. Для обеспечения такого выхода нужно извлечь также ту часть сусла, которая непрочно удерживается в клетках мякоти раздавленных ягод. Это может быть достигнуто путем интенсификации процесса во второй его период (8-10 мин) за счет рыхления частично стекшей мезги, которая находится в вязко-пластичном состоянии. Интенсивность рыхления должна составлять 0,7-1,2 м/мин при слабом давлении на мезгу в пределах 0,16-0,18 МПа. При более интенсивном перемешивании и увеличении продолжительности процесса соковыделения качество самотека ухудшится.

Основные технологические требования, которые предъявляются к конструкции стекателей, сводятся к минимальной аэрации сусла, минимальному содержанию в нем взвешенных частиц и возможно меньшему перетиранию мезги. Так, для шнековых стекателей показатели сусла должны быть следующими: среднее содержание взвесей – не более 100 г/л; средний прирост дубильных веществ – не более 0,15 г/л; среднее обогащение сусла железом – не более 2 мг/л.

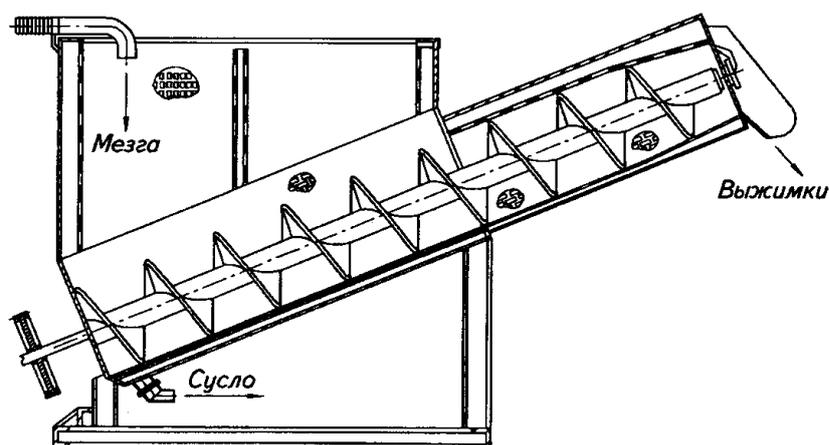
В виноделии используют стекатели разнообразных конструкций, которые могут быть классифицированы как по характеру их воздействия на мезгу (гравитационно-статические и гравитационно-динамические), так и по конструктивным признакам (корзиночные, камерные, колонные, барабанные, ленточные, шнековые, лотковые и др.).

Наибольшее распространение в отечественном виноделии получили непрерывнодействующие малогабаритные шнековые стекатели (табл. 1). К ним относятся стекатели ВССШ (разных модификаций производительностью 10, 20, 30, 50 100 т/ч) и стекатель ВСН-20 (производительностью 20 т/ч).

**Таблица 1** – Техническая характеристика шнековых стекателей

| Показатель                        | ВССШ-10Д | ВССШ-30Д | ВССШ-50Д | ВССШ-100 | ВСН-20 |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|--------|
| Производительность, т/ч           | 10       | 30       | 50       | 100      | 20     |
| Шнек:                             |          |          |          |          |        |
| диаметр, мм                       | 634      | 634      | 697      | 797      | 536    |
| шаг, мм                           | 300      | 300      | 400      | 425      | 220    |
| частота вращения, с <sup>-1</sup> | 1,3      | 4,0      | 3,0      | 1,5; 2,5 | 2,56   |
| Мощность привода, кВт             | 1,1      | 1,1      | 2,0      | 3,0      | 1,5    |

Шнековый стекатель (рис. 2) состоит из перфорированного корпуса с открытой и закрытой частями и шнека. Внутри бункера для увеличения площади дренирующей поверхности и лучшего распределения в нем массы мезги установлена дренажная перегородка.



**Рис. 2.** Схема шнекового стекателя

Мезга из дробилки попадает в первую секцию бункера и последовательно перемещается во вторую секцию и цилиндрический закрытый корпус стекателя, где за счет уменьшения поперечного сечения происходит некоторый отжим мезги (давление до 0,16 МПа). Степень отжатия обуславливается величиной сужения конусной части барабана.

## 2. Строение и принцип действия экстракторов.

Экстракторы предназначены для одновременного экстрагирования и брожения мезги. Наиболее распространенной отечественной моделью является аппарат ВЭКД-5 (рис. 3, а, б). В аппарате происходит непрерывное брожение мезги с плавающей «шапкой». Свежая мезга подается периодически.

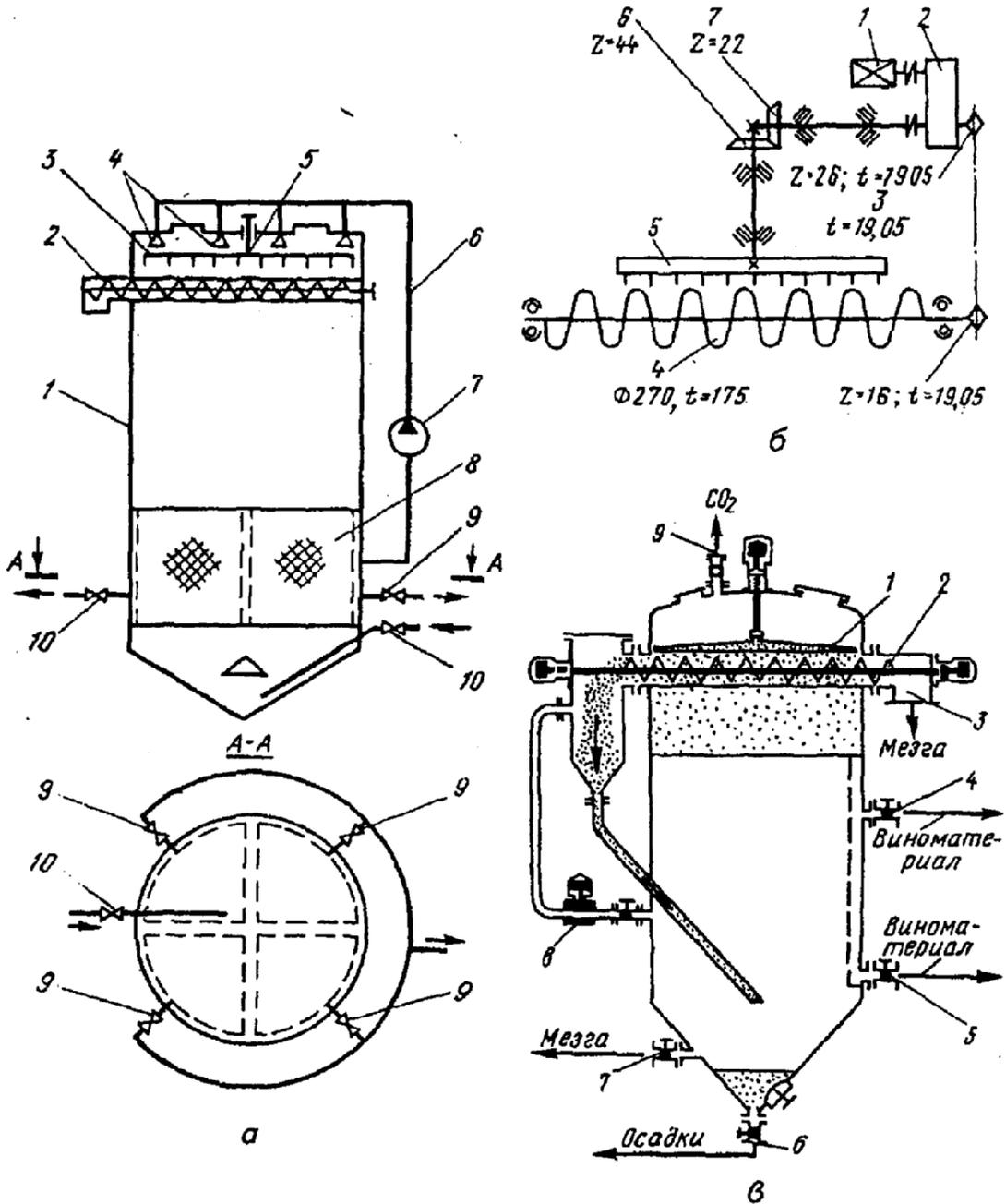


Рис. 3. Экстракторы ВЭКД (а, б) и фирмы «Radovan» (в):

а – принципиальная схема (1 – резервуар; 2 – шнек; 3 – грабли; 4 – разбрызгиватель; 5 – вал; 6 – труба; 7 – насос; 8 – стенка; 9, 10 – патрубки с кранами); б – кинематическая схема (1 – электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – цепная передача; 4 – шнек; 5 – грабли; 6, 7 – шестерни); в – принципиальная схема (1 – грабли; 2 – шнек; 3, 6, 7 – патрубки; 4; 5 – патрубки с кранами; 8, 9 – вентили).

Свежая мезга загружается до уровня на 0,5 м ниже желоба разгрузочного шнека 2. Для ускорения брожения в аппарат дозируют дрожжевую разводку до 3% мезги. В процессе брожения сусло перемешивают 3-4 раза в сутки. Для этого сусло отбирается через перфорированные стенки 8, установленные в нижней части резервуара, и орошает поверхность «шапки» через пятарожковый разбрызгиватель 4. При остаточном содержании сахара в сусле до 5% производится выпуск бродящего сусла-самотека. Единовременный объем выпускаемой жидкости не должен превышать 50% ее общего объема в аппарате. В противном случае старая «шапка» опускается в зону перфорированных стенок, а свежая мезга при подаче ее в аппарат образует свищи и прорывается на поверхность старой, в результате чего аппарат выводится из непрерывного режима работы. Для восстановления рабочего режима аппарат необходимо полностью разгрузить и повторно пустить в работу.

После выпуска сусла до нужного остаточного уровня в аппарат подают свежую мезгу. Она поднимает старую «шапку» в верхнюю часть аппарата, где ее граблями 3 сваливают в разгрузочный желоб и выводят из аппарата, направляя на дожимочный пресс.

Производительность экстрактора – 5 т/ч; объем – 44,5 м<sup>3</sup>; длительность экстрагирования – 10 ч; диаметр – 5082 мм, высота – 8015 мм.

За рубежом выпускается большое количество конструкций экстракторов различных типов. Примером могут служить известные установки фирм «Ladousse» (Франция), «Padovan» и «Defranceshi» (Италия), «Сremashi» (Аргентина) и др.

В установке Padovan (рис. 3, в), принципиально похожей на экстрактор ВЭКД-5, процесс рециркуляции мезги осуществляется следующим образом: сформированная вверху «шапка» собирается граблями 1 и при помощи шнека 2 подается в устройство для рециркуляции, в которое одновременно поступает сусло из нижней части резервуара, создавая встречный поток. Затем обогащенная суслом мезга подается в нижнюю часть резервуара. Всего производится три рециркуляции по 1-1,5 ч каждая через 3, 7 и 13 ч после загрузки. Рециркуляция считается законченной, когда «шапка» полностью опустится в вино. Когда «шапка» поднимется вновь, можно начинать следующую рециркуляцию либо приступить к выгрузке мезги. Вместимость резервуара до 100 м<sup>3</sup>.

Шнек состоит из двух частей, одна из которых обеспечивает передвижение мезги при разгрузке «шапки», а вторая подает мезгу для рециркуляции. Сброженное сусло отводится через нижний кран 5 при периодическом сбразивании и через кран 4 – при непрерывном. Осадки удаляются через патрубок 6, мезга – через патрубок 7, а выделяющийся диоксид углерода – через вентиль 9 с предохранительным клапаном.

### 3. Расчет производительности и мощности шнекового стекателя.

Фактическая производительность (кг/с) шнековых стекателей

$$G_{\phi} = G_m K_v K_r K_{зв} K_d K_p K_0 \varphi_{обр}. \quad (1)$$

где  $G_m$  – теоретическая производительность шнекового стекателя кг/с;  $K_v$  – коэффициент, характеризующий влияние выхода суслу;  $K_r$  – коэффициент, учитывающий снижение производительности при переработке мезги с гребнями;  $K_{зв}$  – коэффициент, учитывающий в стекателе звездочки, препятствующие обратному стоку;  $K_d$  – коэффициент, учитывающий форму отверстий;  $K_p$  – коэффициент, учитывающий изменение производительности в зависимости от геометрических размеров; для диаметров цилиндров 100...800 мм  $K_p = 1$ ;  $K_0$  – коэффициент, служащий для приведения производительности стекателя по мезге к производительности по винограду;  $K_0 = 1,75$ ;  $\varphi_{обр}$  – коэффициент, учитывающий обратный ход мезги.

Теоретическая производительность (кг/с) шнекового стекателя

$$G_T = \frac{\pi(D_{шн}^2 - d_{вал}^2)}{4} S_{шн} n_{шн} \rho_{пр} \psi C \quad (2)$$

где  $D_{шн}$  – наружный диаметр шнека, м;  $d_{вал}$  – диаметр вала, м;  $S_{шн}$  – шаг шнека м;  $n_{шн}$  – частота вращения, с<sup>-1</sup>;  $\rho_{пр}$  – плотность продукта, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_{пр} = 890...970$  кг/м<sup>3</sup>);  $\psi$  – коэффициент заполнения;  $\psi = 1$ ;  $C$  – коэффициент, учитывающий наклон шнека;  $C = \frac{1}{\cos \alpha_{шн}} = 1,1$

Коэффициент  $K_v$ , характеризующий влияние выхода суслу, в интервале  $G_{сус} = 40...65$  дал/т и для частот вращения  $n_{шн} = 0,016...0,16$  с<sup>-1</sup>

$$K_v = 0,32 + 0,0339G_{сус} - 0,000393G_{сус}^2 \quad (3)$$

Коэффициент  $K_{зв}$ , учитывающий в стекателе звездочки (обтюрирующие устройства), которые препятствуют обратному стоку, при  $G_{сус} = 55...70$  дал/т

$$K_{зв} = 1,00 + 0,0013(G_{сус} - 55) + 0,001(G_{сус} - 55)^2 \quad (4)$$

Коэффициент  $K_d$ , учитывающий форму отверстий, при живом сечении не менее 10 % и диаметре отверстий в цилиндре  $d_{отв} = 0,6...2,5$  мм

$$K_d = 0,77 - 0,015d_{отв} + 0,0359d_{отв}^2 \quad (5)$$

Для щелевидных отверстий  $K_d = 1$ .

Коэффициент  $\varphi_{обр}$ , учитывающий обратный ход мезги, в интервале значений частот вращения  $n_{шн} = 0,016...0,16$  с<sup>-1</sup>

$$\varphi_{обр} = 60n_{шн}^{-0,181} \quad (6)$$

Размер выходного диаметра (м) конического запорного устройства

$$D_{\text{вых}} = \sqrt{k_{\text{ум}}(D_{\text{вх}}^2 - d_{\text{вал}}^2) + d_{\text{вал}}^2} \quad (7)$$

где  $D_{\text{вх}}$  и  $D_{\text{вых}}$  – диаметры запорного устройства соответственно на входе и выходе мезги (при этом  $D_{\text{вх}} = D_{\text{шн}}$ ), м;  $k_{\text{ум}}$  – коэффициент уменьшения объема отжимаемой мезги;  $d_{\text{вал}}$  – диаметр вала шнека, м.

Коэффициент уменьшения объема отжимаемой мезги  $k_{\text{ум}}$  для частот вращения  $n_{\text{шн}} = 0,016 \dots 0,16 \text{ с}^{-1}$

$$k_{\text{ум}} = 1 - 0,5(60n_{\text{шн}} - 1)^{0,23} \quad (8)$$

Требуемая для привода стекателя мощность (кВт)

$$N_{\text{ст}} = (0,4 \dots 0,5)G_{\text{ф}} \quad (9)$$

Пример 1. Рассчитать фактическую производительность  $G_{\text{ф}}$  шнекового стекателя с использованием конического запорного устройства, если наружный диаметр шнека  $D_{\text{шн}} = 0,4$  м; диаметр вала  $d_{\text{вал}} = 0,1$  м; шаг шнека  $S_{\text{шн}} = 0,32$  м; частота вращения  $n_{\text{шн}} = 0,042 \text{ с}^{-1}$ ; угол наклона шнека  $\alpha_{\text{шн}} = 25^\circ$ , диаметр отверстия в цилиндре  $d_{\text{отв}} = 0,8$  мм; плотность продукта  $\rho_{\text{пр}} = 900 \text{ кг/м}^3$ ; выход суслу  $G_{\text{сус}} = 65$  дал/т.

Решение. Коэффициент, учитывающий наклон шнека,

$$C = \frac{1}{\cos 25} = 1,1$$

Определим теоретическую производительность шнекового стекателя

$$G_{\text{т}} = \frac{3,14(0,4^2 - 0,1^2)}{60 \cdot 4} \cdot 0,32 \cdot 2,5 \cdot 900 \cdot 1,1 = 1,56 \text{ кг/см}$$

Коэффициент  $K_v$ , характеризующий влияние выхода суслу,

$$K_v = 0,32 + 0,0339 \cdot 65 - 0,000393 \cdot 65^2 = 0,863$$

Коэффициент  $K_r$ , учитывающий снижение производительности при переработке мезги с гребнями, для расчетов принимается равным средневзвешенному значению  $K_r = 0,97$ .

Коэффициент  $K_{зв}$ , учитывающий в стекателе звездочки (обтюрирующие устройства), которые препятствуют обратному стоку, при  $G_{\text{сус}} = 65$  дал/т

$$K_{зв} = 1,00 + 0,0013(65 - 55) + 0,001(65 - 55)^2 = 1,123$$

Коэффициент  $K_d$ , учитывающий форму отверстий, при живом сечении не менее 10 % и диаметре отверстий в цилиндре 0,8 мм

$$K_d = 0,77 - 0,015 \cdot 0,8 + 0,0359 \cdot 0,8^2 = 0,781$$

Коэффициент  $K_p$ , учитывающий изменение производительности в зависимости от геометрических размеров, для диаметра цилиндра до 800 мм равен 1.

Коэффициент  $\varphi_{обр}$ , учитывающий обратный ход мезги, для частоты вращения шнека  $n_{шн} = 0,042 \text{ с}^{-1}$

$$\varphi_{обр} = (60 \cdot 0,042)^{-0,181} = 2,5^{-0,181} = 0,85$$

Фактическая производительность шнековых стекателей

$$G_{\phi} = 1,56 \cdot 0,863 \cdot 0,97 \cdot 1,123 \cdot 0,781 \cdot 1 \cdot 1,75 \cdot 0,85 = 1,7037 \text{ кг/с}$$

Коэффициент уменьшения объема отжимаемой мезги

$$k_{ym} = 1 - 0,5(2,5 - 1)^{0,23} = 1 - 0,54887 = 0,45$$

Размер выходного диаметра конического запорного устройства

$$D_{вых} = \sqrt{0,45(0,4^2 - 0,2^2) + 0,1^2} = \sqrt{0,0775} = 0,278 \text{ м}$$

Требуемая для привода стекателя мощность

$$N_{ст} = 0,45 \cdot 1,7037 = 0,767 \text{ кВт}$$

### ***Задания для самостоятельной работы:***

1. Рассчитать фактическую производительность  $G_{\phi}$  шнекового стекателя с использованием конического запорного устройства, если наружный диаметр шнека  $D_{шн} = 0,634 \text{ м}$ ; диаметр вала  $d_{вал} = 0,1 \text{ м}$ ; шаг шнека  $S_{шн} = 0,3 \text{ м}$ ; частота вращения  $n_{шн} = 0,022 \text{ с}^{-1}$ ; угол наклона шнека  $\alpha_{шн} = 25^\circ$ , диаметр отверстия в цилиндре  $d_{отв} = 0,8 \text{ мм}$ ; плотность продукта  $\rho_{пр} = 960 \text{ кг/м}^3$ ; выход сусла  $G_{сус} = 55 \text{ дал/т}$ .

2. Рассчитать фактическую производительность  $G_{\phi}$  шнекового стекателя с использованием конического запорного устройства, если наружный диаметр шнека  $D_{шн} = 0,634 \text{ м}$ ; диаметр вала  $d_{вал} = 0,1 \text{ м}$ ; шаг шнека  $S_{шн} = 0,3 \text{ м}$ ; частота вращения  $n_{шн} = 0,046 \text{ с}^{-1}$ ; угол наклона шнека  $\alpha_{шн} = 25^\circ$ , диаметр отверстия в цилиндре  $d_{отв} = 0,6 \text{ мм}$ ; плотность продукта  $\rho_{пр} = 900 \text{ кг/м}^3$ ; выход сусла  $G_{сус} = 60 \text{ дал/т}$ .

3. Рассчитать фактическую производительность  $G_{\phi}$  шнекового стекателя с использованием конического запорного устройства, если наружный диаметр шнека  $D_{шн} = 0,4 \text{ м}$ ; диаметр вала  $d_{вал} = 0,1 \text{ м}$ ; шаг шнека  $S_{шн} = 0,32 \text{ м}$ ; частота вращения  $n_{шн} = 0,042 \text{ с}^{-1}$ ; угол наклона шнека  $\alpha_{шн} = 25^\circ$ , диаметр отверстия в цилиндре  $d_{отв} = 0,8 \text{ мм}$ ; плотность продукта  $\rho_{пр} = 890 \text{ кг/м}^3$ ; выход сусла  $G_{сус} = 70 \text{ дал/т}$ .

### **Контрольные вопросы:**

- 1.** Что называется стеканием?
- 2.** Какие конструкции машин и агрегатов применяют для отделения сусла от мезги?
- 3.** Опишите закономерности процесса свободного отделения сусла.
- 4.** Назовите основные технологические требования, предъявляемые к конструкции стекателей.
- 5.** Опишите строение и принцип действия шнековых стекателей.
- 6.** Опишите строение и принцип экстракторов.
- 7.** Какие конструкции экстракторов выпускаются за рубежом?
- 8.** Методика расчета производительности и мощности шнекового стекателя.

### ТЕМА 3. РАСЧЕТ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ МЕЗГИ И ПОЛУЧЕНИЯ СУСЛА ПРЕССОВЫХ ФРАКЦИЙ

**Цель занятия:** усвоить теоретические основы прессования мезги винограда, научиться самостоятельно рассчитывать производительность и мощность прессов.

**Задание:**

1. Изучить строение и принцип действия прессов периодического и непрерывного принципа действия.
2. Рассчитать производительность и мощность шнекового пресса.

*1. Строение и принцип действия прессов периодического и непрерывного принципа действия.*

Для отделения сусла от мезги после отбора первой фракции на стекателях служат прессы периодического и непрерывного действия.

Во всех случаях в прессах происходит разрушение растительных клеток ягоды, истирание кожицы, а при неблагоприятных условиях - раздавливание и перетирание виноградных семян. Поэтому в прессовом сусле имеется определенное количество взвесей, дубильных и других веществ. Содержание их колеблется в зависимости от сорта и качества винограда, режима процессов дробления и прессования мезги, а также требований к качеству получаемого продукта (последнее зависит от типа вина, для которого продукт предназначен).

С точки зрения физической сущности процесс прессования характеризуется сближением частиц кожицы и семян под силовым воздействием. При этом на внешних и внутренних поверхностях частиц силовым молекулярным полем удерживается сок. В начале процесса отжим сока происходит по каналам между частицами, а с началом деформации самих частиц – по капиллярам внутри них. Таким образом, процесс прессования можно рассматривать как движение несжимаемой жидкости в деформируемой пористой среде.

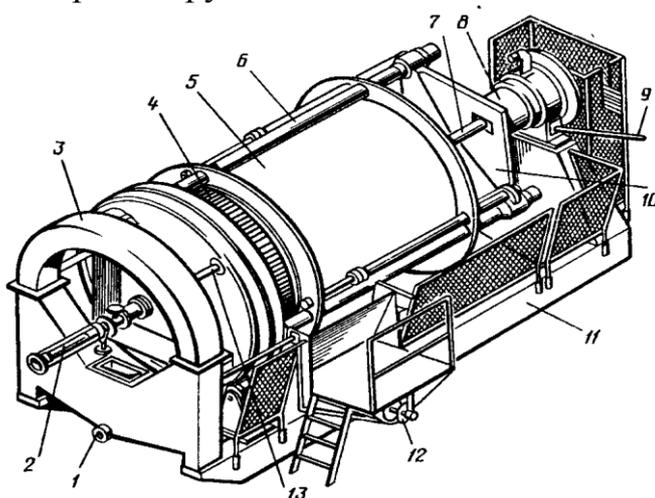
Эффективность прессования определяется не только величиной давления и продолжительностью процесса, но и свойствами мезги (реологическими характеристиками, вязкостью сока и др.). В связи с этим особое значение имеет способ подготовки сырья перед прессованием: биологическая инактивация клеток ягоды, плазмолиз, сульфитация мезги, термическая обработка, обработка ферментными препаратами и т. д.

Разработанные для винодельческой промышленности прессы делятся на две группы: периодического и непрерывного действия. По способу создания давления прессы первой группы, в свою очередь, разделяются на механические, механические с гидродожатием, гидравлические, пневматические; прессы второй группы в основном механические. В прессах периодического действия в качестве приемника мезги и рабочего органа чаще всего используются соответственно корзины и поршни, а в некоторых кон-

струкциях – ленты и баллоны. В прессах непрерывного действия рабочими органами служат шнеки, ленты, эксцентрики, валки и др.

Прессы периодического действия. Все прессы периодического действия обеспечивают получение суслу нескольких давлений (за счет возврата рабочих органов в исходное положение).

Из современных конструкций прессов периодического действия наибольший интерес представляют поршневые корзиночные прессы бокового давления. Примером может служить пресс НР, выпускаемой фирмой «Bucher» (Швейцария). Общий вид прессы показан на рис. 1. Давление в этом прессе создается поршнем, перемещающемся в корзине 5 под действием штока 7 гидроцилиндра 8. В корзине расположены дренажные устройства 4, представляющие собой гибкие, выполненные из полимерных материалов трубки-желобки, покрытые фильтрующей тканью. Желобки крепятся к перемещающемуся поршню и неподвижному диску, расположенному в торце корзины. Мезга поступает в корзину через торцевой патрубок 2, а отпрессованное сусло по трубам 13 попадает в кольцевой канал 3, откуда выводится через патрубок 1.



**Рис. 1.** Пресс НР (общий вид):

- 1,2 – патрубки; 3 – кольцевой канал;  
4 – дренажные устройства; 5 – корзина; 6 – стяжка; 7 – шток; 8 – гидроцилиндр;  
9 – трубопровод; 10 – рама; 11 – станина; 12 – шнек; 13 – труба

Во время прессования в гидравлический цилиндр 8 масло нагнетается по трубопроводу 9 двухступенчатым насосом (со степенями низкого и высокого давления), что обеспечивает сначала большую, а потом меньшую скорость поршня при перемещении, а, следовательно, и самого процесса прессования.

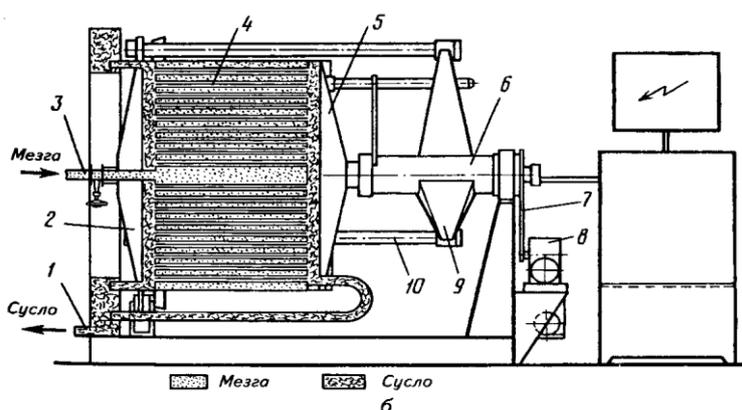
По окончании каждого прессования поршень отводится в исходное положение, при этом трубки-желобки распрямляются и разрыхляют мезгу. Каждая порция мезги отпрессовывается 3-4 раза (каждый раз поршень перемещается на большее расстояние навстречу неподвижному диску).

По окончании цикла прессования корзина 5 отодвигается от неподвижного диска и выжимка попадает в бункер, откуда отводится шнеком 12. Для полного удаления выжимки корзину приводят во вращательное движение от привода через раму 10 и стяжек 6.

Все механизмы пресса смонтированы на станине 11. Принципиальная технологическая схема пресса показана на рис. 2.

Пресс обеспечивает высокий выход сусла (до 82%).

Имеется довольно много конструктивных разновидностей прессов такого типа. В некоторых из них дренажные желобки расположены по окружности с внутренней стороны корзины (по образующей цилиндра), они неподвижны, а рыхление мезги производится тросами, натянутыми между поршнем и неподвижным диском.



**Рис. 2.** Пресс НР (принципиальная технологическая схема):

1,3 – патрубки; 2 – неподвижный диск; 4 – дренажные устройства; 5 – поршень; 6 – гидроцилиндр; 7 – цепная передача; 8 – привод; 9 – рама; 10 – штанга).

Удачные современные пневматические прессы выпускает фирма «Diemme» (Италия). Эти прессы горизонтального типа, основной конструктивный элемент их – барабан из коррозиестойкой стали. Давление на мезгу осуществляется внутри барабана горизонтальной расположенной плотной мембраной, делящей барабан на две секции. Нижняя запружается мезгой, а в пространство над мембраной подается сжатый воздух. Сусло стекает через сливные патрубки в нижней части барабана. Управление процессом прессования осуществляется в автоматическом режиме. Некоторые разновидности прессов снабжены системой автоматизированной промывки барабана.

Длительность процесса прессования 1,5-2,0 ч, разгрузка длится 20-25 мин. Пресс обеспечивает выход сусла 1-й фракции (при работе пресса в качестве стекателя) 50-60% и суммарный выход 70-83%. Марки выпускаемых прессов: AR, Millennium. Полная вместимость барабанов – в зависимости от типоразмера – от 5 до 43 м<sup>3</sup>.

Анализируя состояние и тенденции развития прессов периодического действия, можно отметить возросший интерес к гидравлическим прес-

сам бокового давления и перспективность их благодаря упомянутым преимуществам особенно при производстве марочных виноматериалов. На винодельческих предприятиях такие прессы выгодно использовать для предварительного отжатия мезги; дожатие ее в таких случаях осуществляют на прессах непрерывного действия (чаще всего шнековых).

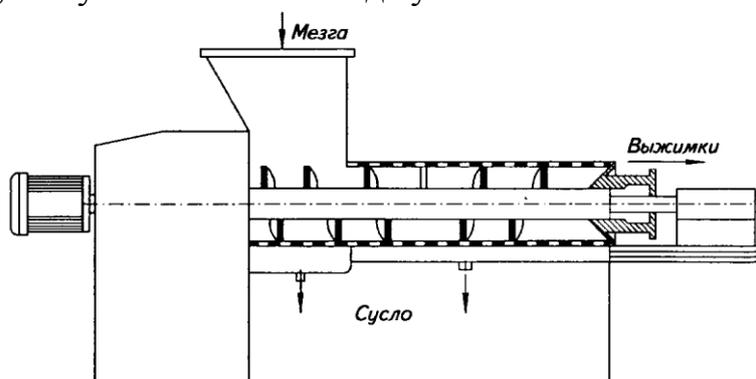
Прессы непрерывного действия. Применяемые в винодельческой промышленности прессы непрерывного действия более производительны, позволяют автоматизировать переработку винограда, хотя сусло, получаемое на большинстве типов этих прессов, более низкого качества. Самыми распространенными прессами этой группы являются шнековые. Конструктивно они могут быть выполнены по-разному в зависимости от количества шнеков и их расположения.

Большое распространение на отечественных предприятиях получили двухшнековые прессы непрерывного действия (табл. 1).

**Таблица 1** – Техническая характеристика двухшнековых прессов

| Показатель                                | ВПО-20А | ВПО-30А | ВПО-50 | ВПО-100 | ВПС-20 |
|---|---------|---------|--------|---------|--------|
| Производительность, т/ч                   | 20      | 30      | 50     | 100     | 20     |
| Шаг шнека, мм:                            |         |         |        |         |        |
| транспортирующего                         | 330     | 380     | 470    | 600     | 300    |
| прессующего                               | 280     | 320     | 400    | 500     | 250    |
| Частота вращения шнека, с <sup>-1</sup> : |         |         |        |         |        |
| транспортирующего                         | 7,5     | 7,5     | 7,5    | 7,5     | 6,8    |
| прессующего                               | 3,5     | 3,5     | 3,5    | 3,5     | 3,6    |
| Мощность привода, кВт                     | 15      | 18,5    | 24,2   | 48,3    | 11     |

Наличие в прессах (рис. 3) двух шнеков, имеющих различные направления вращения и разный заход, обеспечивает рыхление мезги на стыке шнеков, что увеличивает выход сусла.



**Рис. 3.** Схема шнекового пресса

Мезга из загрузочного бункера поступает на транспортирующий шнек. Часть сусла при этом через сетку корпуса стекает в его нижнюю часть. По

ходу движения мезги в результате ее перемещения транспортирующим шнеком в поддон через перфорированный барабан отбирается сусло второй фракции. В камере прессования отбирается сусло третьей фракции. При этом степень сжатия, влияющая на влажность выжимок, определяется величиной кольцевого зазора между конусом и торцом цилиндра.

## 2. Расчет производительности и мощности шнекового пресса.

Производительность шнековых прессов (кг/с)

$$G = F_{\text{кам}} v_{\text{пр}} \rho_{\text{мезг}} \varphi_{\text{зан}} \quad (1)$$

где  $F_{\text{кам}}$  – площадь поперечного сечения внутренней полости камеры прессования в месте расположения первого витка шнека, занятая продуктом, м<sup>2</sup>;  $v_{\text{пр}}$  – скорость поступательного перемещения продукта вдоль шнека, м/с;  $\rho_{\text{мезг}}$  – объемная масса мезги, кг/м<sup>3</sup>;  $\varphi_{\text{зан}}$  – суммарный коэффициент заполнения сечения шнека и всего пресса;  $\varphi_{\text{зан}} = 0,25 \dots 0,8$ .

Площадь поперечного сечения внутренней полости камеры прессования в месте расположения первого витка шнека, занятая продуктом (м<sup>2</sup>),

$$F_{\text{кам}} = \frac{\pi(D_{\text{шн}}^2 - d_{\text{шн}}^2)}{4} \quad (2)$$

где  $D_{\text{шн}}$  – наружный диаметр шнека, м;  $d_{\text{шн}}$  – внутренний диаметр шнека, м.

Скорость поступательного перемещения продукта вдоль шнека (м/с)

$$v_{\text{пр}} = n_{\text{шн}} S_{\text{внк}} \quad (3)$$

где  $n_{\text{шн}}$  – частота вращения шнека, с-1;  $S_{\text{внк}}$  – шаг первого витка, м.

Полезная мощность на прессующем шнеке (кВт)

$$N_{\text{пр.шн}} = 0,816 \cdot 10^{-4} \omega_{\text{шн}} D_{\text{шн}}^3 q \quad (4)$$

где  $\omega_{\text{шн}}$  – угловая скорость вращения шнека, рад/с;  $q$  – давление на последнем витке, МПа.

Угловая скорость вращения шнека (рад/с)

$$\omega_{\text{шн}} = 2\pi n_{\text{шн}} \quad (5)$$

Мощность привода пресса (кВт)

$$N_{\text{пр}} = 1,3 N_{\text{пр.шн}} \quad (6)$$

где 1,3 – коэффициент, учитывающий КПД редуктора, двигателя и мощность, необходимую для привода транспортирующего шнека.

Пример 1. Рассчитать производительность и мощность привода шнекового пресса, если наружный диаметр шнека  $D_{\text{шн}} = 0,48$  м; внутренний

диаметр шнека  $d_{\text{шн}} = 0,14$  м; шаг первого витка  $S_{\text{внк}} = 0,24$  м; частота вращения шнека  $n_{\text{шн}} = 0,06$  с<sup>-1</sup>; давление на последнем витке шнека  $q = 1,4$  МПа; объемная масса мезги  $\rho_{\text{мезг}} = 1110$  кг/м<sup>3</sup>.

Решение. Площадь поперечного сечения внутренней полости камеры прессования в месте расположения первого витка шнека, занятая продуктом, по формуле (2)

$$F_{\text{кам}} = \frac{3,14(0,48^2 - 0,14^2)}{4} = 0,32 \text{ м}^2.$$

Скорость поступательного перемещения продукта вдоль шнека по формуле (3)

$$v_{\text{пр}} = \frac{3,6 \cdot 0,24}{60} = 0,02 \text{ м/с}.$$

Производительность пресса

$$G = 0,32 \cdot 0,02 \cdot 800 \cdot 0,75 = 3,84 \text{ кг/с}.$$

Угловая скорость вращения шнека

$$\omega_{\text{шн}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,06 = 0,38 \text{ рад/с}$$

Полезная мощность на прессующем шнеке

$$N_{\text{пр.шн}} = 0,816 \cdot 10^{-4} \cdot 0,38 \cdot 1,4 \cdot 10^6 \cdot 0,65^3 = 11,92 \text{ кВт}$$

Мощность привода пресса

$$N_{\text{пр}} = 1,3 \cdot 11,92 = 15,496 \text{ кВт}$$

**Задания для самостоятельной работы:**

1. Рассчитать производительность и мощность привода шнекового пресса, если наружный диаметр шнека  $D_{\text{шн}} = 0,48$  м; внутренний диаметр шнека  $d_{\text{шн}} = 0,14$  м; шаг первого витка  $S_{\text{внк}} = 0,3$  м; частота вращения шнека  $n_{\text{шн}} = 0,07$  с<sup>-1</sup>; давление на последнем витке шнека  $q = 1,6$  МПа; объемная масса мезги  $\rho_{\text{мезг}} = 1080$  кг/м<sup>3</sup>.

2. Рассчитать производительность и мощность привода шнекового пресса, если наружный диаметр шнека  $D_{\text{шн}} = 0,48$  м; внутренний диаметр шнека  $d_{\text{шн}} = 0,14$  м; шаг первого витка  $S_{\text{внк}} = 0,24$  м; частота вращения шнека  $n_{\text{шн}} = 0,07$  с<sup>-1</sup>; давление на последнем витке шнека  $q = 1,6$  МПа; объемная масса мезги  $\rho_{\text{мезг}} = 1096$  кг/м<sup>3</sup>.

3. Рассчитать производительность и мощность привода шнекового пресса, если наружный диаметр шнека  $D_{\text{шн}} = 0,48$  м; внутренний диаметр шнека  $d_{\text{шн}} = 0,14$  м; шаг первого витка  $S_{\text{внк}} = 0,3$  м; частота вращения шнека  $n_{\text{шн}} = 0,06$  с<sup>-1</sup>; давление на последнем витке шнека  $q = 1,7$  МПа; объемная масса мезги  $\rho_{\text{мезг}} = 1125$  кг/м<sup>3</sup>.

### **Контрольные вопросы:**

1. Физическая сущность процесса прессования.
2. Факторы, влияющие на эффективность прессования.
3. Опишите строение и принцип действия прессов периодического действия.
4. Опишите строение и принцип действия прессов непрерывного действия.
5. Методика расчета производительности и мощности шнекового пресса.

## ТЕМА 4. РАСЧЕТ БРОДИЛЬНЫХ АППАРАТОВ

**Цель занятия:** усвоить теоретические основы процесса брожения, научиться самостоятельно рассчитывать потери теплоты при брожении

**Задание:**

1. Изучить основные способы сбраживания виноградного сусла.
2. Рассчитать производительность бродильной установки непрерывного действия.
3. Рассчитать необходимое число резервуаров в бродильной батарее.
4. Изучить тепловые расчеты при брожении.
5. Рассчитать потери теплоты стальным геометрическим аппаратом при брожении.

*1. Основные способы сбраживания виноградного сусла.*

Брожение – основной технологический процесс винодельческих производств, формирующий вино как продукт с типичными для него свойствами.

Современными технологическими схемами производства вин по белому способу предусмотрено осветление сусла перед брожением в течение 12-24 ч путем отстаивания в обычных резервуарах либо на специальном оборудовании с последующим сбраживанием с целью получения винома-териала. Брожением на мезге готовят основную массу красных вин, а также некоторые специальные вина. Процессы брожения имеют место и при производстве плодово-ягодных вин, шампанского (так называемое вторичное брожение) и игристых вин.

В современной виноделии применяют три основных способа сбраживания виноградного сусла – стационарный (периодический), доливной и непрерывный. Первый состоит в том, что определенный объем сусла сбраживается с начала до конца в одном резервуаре (установке). Как правило, для этих целей используются обычные резервуары, оснащенные соответствующей арматурой и приборами.

При расчете производительности бродильных установок периодического действия определяющим фактором является скорость сбраживания сахара, которую рекомендуется поддерживать в пределах 0,1-0,4 г/(л·ч). Она зависит не только от температуры сусла, но и от геометрических параметров бродильной установки, в частности от соотношения длины (высоты) и диаметра резервуара, так как это соотношение влияет на перемешивание массы сусла, пенообразование и т. д.

Доливной способ брожения отличается тем, что процесс идет не в постоянном объеме исходного сусла, а при периодических доливах новых его порций. В этих условиях бродящая среда периодически пополняется питательными веществами, концентрация продуктов брожения уменьшается, и температура бродящего сусла понижается. Такой способ обеспечи-

вает возможность проведения процесса в крупных резервуарах без принудительного охлаждения.

В крупных резервуарах можно проводить процесс брожения и точно-доливным способом с применением искусственного холода.

Способ непрерывного брожения основан на ведении процесса в условиях регламентированного потока бродящего сусла. Для осуществления этого процесса применяют установки БА-1 и ВБУ-4Н, реже ВКМ-5, УНС-Э «Крымская» и др.

*2. Расчет производительности бродильной установки непрерывного действия.*

Расчет производительности бродильных установок непрерывного действия основан на кинетике процесса, а тепловой расчет процесса позволяет подбирать соответствующую холодильную установку.

В общем случае производительность бродильных установок периодического действия  $\Pi$  (в дал за сезон) определяется по формуле:

$$\Pi = \frac{V_{\Pi} T}{\tau} = \frac{VKT}{\tau} \quad (1)$$

где  $V_{\Pi}$  – полезный объем аппарата, дал;  $T$  – время работы установки за сезон, сут;  $\tau$  – длительность цикла сбраживания, сут (в зависимости от вода получаемых виноматериалов (Приложение 2),  $V$  – полный объем аппарата, дал;  $K$  – коэффициент использования резервуаров (при сбраживании сусла по нормативам  $K = 0,85$ ; при брожении на мезге  $K = 0,8$ ).

Коэффициент заполнения резервуаров, особенно крупных, при использовании их для этих целей не должен превышать 0,75, так как процесс брожения связан со значительным увеличением напряженности зеркала пенообразования.

Производительность  $\Pi$  (в дал/сут) бродильной установки непрерывного действия, например типа БА-1, может быть рассчитана по эмпирической формуле

$$\Pi = \frac{V'_{\Pi}}{C_1} \quad (2)$$

где  $V'_{\Pi}$  – полезный объем головного резервуара, дал;  $C_1$  – сахаристость сусла, поступающего на сбраживание, %.

Интервал между подачами сусла

$$\tau = \frac{60V''_{\Pi}}{\Pi}$$

где  $V''_{\Pi}$  – объем одного перетока, дал ( $V''_{\Pi} = 90...91$  дал);  $\Pi$  – производительность установки, дал/ч. Практически время цикла составляет около 20 мин.

*3. Расчет количества резервуаров в бродильной батарее.*

Число резервуаров  $n$  в батарее определяется степенью сбраживания сахара. Этот расчет может производиться не только при проектировании

новых установок, но и при эксплуатации действующих, с целью получения необходимых недобродов.

$$n = \frac{Bq}{\Pi T} \quad (3)$$

где  $B$  – количество односортового винограда, поступающего на завод в течение сезона, т;  $q$  – количество сусла, получаемого из 1 т винограда, дал/т;  $\Pi$  – производительность бродильной установки, дал/сут;  $T$  – длительность сезона, сут.

#### 4. Тепловые расчеты при брожении.

Избыточное количество теплоты  $Q$  (Вт), которое необходимо отводить при брожении,

$$Q = \frac{V\rho q\chi\alpha}{100 \cdot 100} \quad (4)$$

где  $V$  – объем сусла в бродильном аппарате, м<sup>3</sup>;  $\rho$  – плотность сусла, кг/м<sup>3</sup>;  $q$  – количество теплоты, полученной из 1 кг сахара при брожении (в среднем  $q = 586 \cdot 10^3$  Дж);  $\chi$  – количество сбраживаемого сахара в сусле, мас. %;  $\alpha$  – количество сахара, сбраживаемого за 1 с, % к общему количеству сахара в сусле.

Образующаяся при брожении теплота частично теряется через поверхность бродильного аппарата в окружающую среду –  $Q_1$  (определяется по обычной методике тепловых расчетов), частично уносится с выделяющимися при брожении газами –  $Q_2$ . Количество теплоты, уносимой диоксидом углерода и водно-спиртовыми парами, определяется по количеству этих газов, выделяющихся за 1 ч в период бурного брожения.

При сбраживании 1 кг сахара выделяется 0,48 кг CO<sub>2</sub> и 0,49 кг спирта. Тогда количество теплоты  $Q_2$  (Вт) уносимой диоксидом углерода,

$$Q_2 = \frac{V\rho\alpha \cdot 0,48Tc}{100 \cdot 100\tau} \quad (5)$$

где  $T$  – температура испарения образующейся массы, К;  $c$  – теплоемкость диоксида углерода [880 Дж/(кг·К)];  $\tau$  – продолжительность брожения, ч.

Количество теплоты, уносимой водно-спиртовыми парами, определяется исходя из количества спирта (в %) в парах:

*для спиртовых паров*

$$Q_{\text{СП}} = \frac{Gb\lambda_{\text{СП}}}{100} \quad (6)$$

*для водяных паров*

$$Q_{\text{В}} = G_{\text{В}}\lambda_{\text{В}} = G[(100 - b)/100]\lambda_{\text{В}} \quad (7)$$

где  $G$  и  $G_{\text{В}}$  – количество соответственно водно-спиртовых и водяных паров, кг/с;  $b$  – количество водяных паров, %;  $\lambda_{\text{СП}}$  – теплота испарения спир-

та, Дж/кг;  $\lambda_B$  – теплота испарения водяного пара при температуре бродящего сусла, Дж/кг.

Суммарное количество теплоты, уносимой водно-спиртовыми парами,

$$Q_3 = Q_{СП} + Q_B$$

Количество теплоты, которое подлежит удалению из бродящей жидкости,

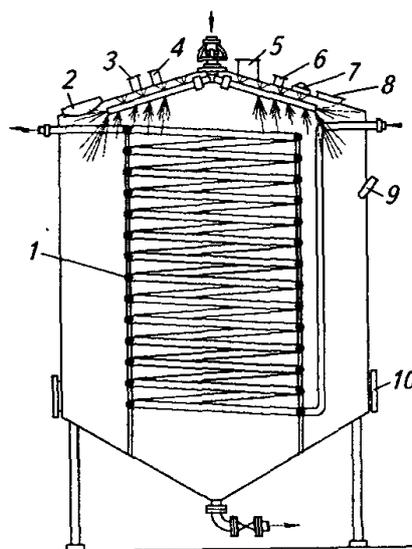
$$Q_0 = Q - Q_1 - Q_2 - Q_3 \quad (8)$$

По этим данным подбирается соответствующая холодильная установка.

*5. Расчет потерь теплоты стальным геометрическим аппаратом при брожении.*

Бродильный аппарат (рис. 1) представляет собой цилиндр с коническими днищами. Аппарат изготавливают из стали Ст. 3 толщиной 6...8 мм путем сварки. Внутри чана смонтирован змеевик 1 из стальных труб диаметром 51...76 мм для отвода теплоты, выделяющейся при брожении массы. Масса подается через штуцер 4, дрожжи – через штуцер 3. Углекислота, выделяющаяся при брожении, отводится через патрубок 5.

Для осмотра и ремонта аппарат снабжен люками 2 и 10. За процессом брожения наблюдают через смотровое окно 8 с помощью светильника 7. Термометры устанавливают в гильзы 9. К штуцеру 6 подключают гидрозатвор, который предотвращает образование вакуума при пропаривании аппарата. При непрерывно-поточном способе брожения на переточных трубах устанавливают дисковый затвор, с помощью которого чан отключается от батареи для мойки и дезинфекции. Конструкция затвора предотвращает застой бражки, что обеспечивает стерильность процесса брожения.



**Рис. 1.** Схема бродильного аппарата

При периодическом способе брожения вместимость бродильного аппарата определяют из условия его заполнения в течение 7...8 ч. Конструктивные размеры аппарата определяют по формулам

$$H = (1,2...1,5)d_{ан};$$

$$h_1 = (0,15...0,3)d_{ан};$$

$$h_2 = (0,1...0,125)d_{ан},$$

где  $H$  – высота цилиндрической части аппарата, м;  $h_1$  и  $h_2$  – высота соответственно днища и крышки аппарата, м;  $d_{ан}$  – диаметр аппарата, м.

Коэффициент заполнения аппарата принимают равным 0,85. Переточные трубы в аппарате, начиная с третьей, крепят на разных уровнях по высоте таким образом, что расстояние между местами закрепления труб двух любых соседних аппаратов составляет 100 мм. Аппарат устанавливают на металлических стойках, высота от пола до днища 0,8...1,2 м.

Тепловая нагрузка на один аппарат в период главного брожения (Вт)

$$Q = Q_1 - (Q_2 + Q_3) \quad (9)$$

где  $Q_1$  – общее количество теплоты, выделяемой в течение 1 ч в период интенсивного главного брожения, Вт (при сбраживании 1 кг мальтозы выделяется 171 Вт);  $Q_2$  – потери теплоты в окружающую среду стенками аппарата, Вт;  $Q_3$  – потери теплоты вследствие испарения и уноса паров диоксида углерода, Вт;  $Q_3 = 0,06Q_1$

Коэффициент теплоотдачи от сбраживаемой массы к стенке змеевика  $\alpha_1$  из-за невозможности его точного расчета принимают ориентировочно равным 699 Вт/(м<sup>2</sup>·К). При турбулентном движении воды в змеевике коэффициент теплоотдачи от стенки змеевика к воде [Вт/(м<sup>2</sup>·К)].

$$\alpha_2 = 0,23(\lambda / d_3)Re^{0,8}Pr^{0,4}[1 + 1,77(d_3/R)] \quad (10)$$

где  $\lambda$  – теплопроводность сбраживаемой массы, Вт/м<sup>2</sup>;  $d_3$  – внутренний диаметр трубы змеевика, м;  $R$  – радиус кривизны змеевика, м (принимают равным 0,8 радиуса бродильного аппарата).

Общая длина труб змеевика (м)

$$L = \frac{F}{\pi d_{cp}} \quad (11)$$

где  $d_{cp}$  – средний диаметр трубы змеевика, м.

Длина одного витка (м) змеевика диаметром  $d_3$

$$l = \sqrt{(\pi d_3)^2 + H^2} \quad (12)$$

Общее число витков

$$z = \frac{L}{l} \quad (13)$$

Потеря теплоты посредством лучеиспускания (Вт)

$$Q_{\lambda} = C_{1-2} \varphi F \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

где  $C_{1-2}$  – коэффициент излучения, зависящий от степени черноты и взаимного расположения излучающих поверхностей, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);  $\varphi$  – угловой коэффициент;  $F$  – площадь поверхности излучения, м<sup>2</sup>;  $T_1, T_2$  – абсолютные температуры поверхностей соответственно более нагретого и менее нагретого тел, К.

При определении коэффициента излучения  $C_{1-2}$  необходимо принимать во внимание следующее:

если аппарат, имеющий площадь поверхности излучения  $F_1$ , находится внутри помещения с площадью поверхности излучения  $F_2$ , то угловой коэффициент  $\varphi = 1$ , а в расчетное уравнение подставляют значение площади поверхности аппарата ( $F = F_1$ )

$$C_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{F_1}{F_2} \left( \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_u} \right)}$$

где  $C_1$  – коэффициент излучения стенок аппарата;  $C_1 = \varepsilon_1 C_u$ ;  $C_2$  – коэффициент излучения поверхностей стен помещения;  $C_2 = \varepsilon_2 C_u$ ;  $C_u$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела;  $C_u = 5,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – соответственно степени черноты поверхностей аппарата и стен помещения;

если отношение площадей излучающих поверхностей  $F_1/F_2$  очень мало, то коэффициент излучения  $C_{1-2}$  можно принять равным  $C_1$ .

Поверхность нагретого аппарата теряет теплоту в окружающую среду не только лучеиспусканием, но и конвекцией. Общая потеря теплоты (Вт)

$$Q = \alpha F (t_{ст} - t_{возд})$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи посредством лучеиспускания и конвекции, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $t_{ст}$  – температура стенок аппарата во время брожения;  $t_{возд}$  – температура воздуха в помещении.

Суммарный коэффициент теплоотдачи при расчете потери теплоты для аппаратов, находящихся в помещении и имеющих температуру стенок не выше 150 °С,

$$\alpha = 9,74 + 0,07\Delta t$$

где  $\Delta t$  – разность температур поверхности стенки аппарата и окружающего воздуха.

Пример 1. Площадь поверхности стенок, днища и крышки бродильного аппарата  $F_{an} = 170 \text{ м}^2$ ; температура стенок аппарата во время брожения  $t_{cm} = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ ; температура воздуха в помещении  $t_{возд} = 14 \text{ }^\circ\text{C}$ . Рассчитать потерю теплоты стальным герметичным аппаратом, установленным в неотапливаемом помещении бродильного отделения.

Решение. В условиях данного примера

$$T_1 = 273 + 27 = 300\text{K}$$

$$T_2 = 273 + 14 = 287\text{K}$$

Среднее значение степени черноты для окисленной стали можно принять равным 0,85, тогда

$$C_1 = 5,7 \cdot 0,85 = 4,84 \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}^4)$$

Потеря теплоты в результате лучеиспускания

$$Q_{л} = 4,84 \cdot 170(3^4 - 2,87^4) = 10860 \text{Вт}$$

В нашем случае суммарный коэффициент теплоотдачи при расчете потери теплоты для аппаратов, находящихся в помещении и имеющих температуру стенок не выше  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ ,

$$\alpha = 9,74 + 0,07(27 - 14) = 10,65 \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$$

Общая потеря теплоты бродильным аппаратом

$$Q = 10,65 \cdot 170(27 - 14) = 23530 \text{Вт}$$

### ***Задания для самостоятельной работы:***

1. Площадь поверхности стенок, днища и крышки бродильного аппарата  $F_{an} = 140 \text{ м}^2$ ; температура стенок аппарата во время брожения  $t_{cm} = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ ; температура воздуха в помещении  $t_{возд} = 14 \text{ }^\circ\text{C}$ . Рассчитать потерю теплоты стальным герметичным аппаратом, установленным в неотапливаемом помещении бродильного отделения.

2. Площадь поверхности стенок, днища и крышки бродильного аппарата  $F_{an} = 170 \text{ м}^2$ ; температура стенок аппарата во время брожения  $t_{cm} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$ ; температура воздуха в помещении  $t_{возд} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$ . Рассчитать потерю теплоты стальным герметичным аппаратом, установленным в неотапливаемом помещении бродильного отделения.

### **Контрольные вопросы:**

- 1.** Что называется брожением?
- 2.** Опишите основные способы сбраживания виноградного сусла.
- 3.** Методика расчета производительности бродильной установки непрерывного действия.
- 4.** Методика расчета необходимого количества резервуаров в бродильной батарее.
- 5.** Методика тепловых расчетов при брожении.
- 6.** Опишите строение и принцип действия бродильного аппарата.
- 7.** Методика расчета потери теплоты стальным геометрическим аппаратом при брожении.

## ТЕМА 5. РАСЧЕТ БРАГОПЕРЕГОННЫХ АППАРАТОВ

**Цель занятия:** усвоить теоретические основы процесса перегонки и ректификации, научиться самостоятельно рассчитывать производительность брагоперегонных аппаратов, определять число тарелок в аппарате, размеры бражной колонны, а также расход пара и воды, необходимых для проведения процесса.

**Задание:**

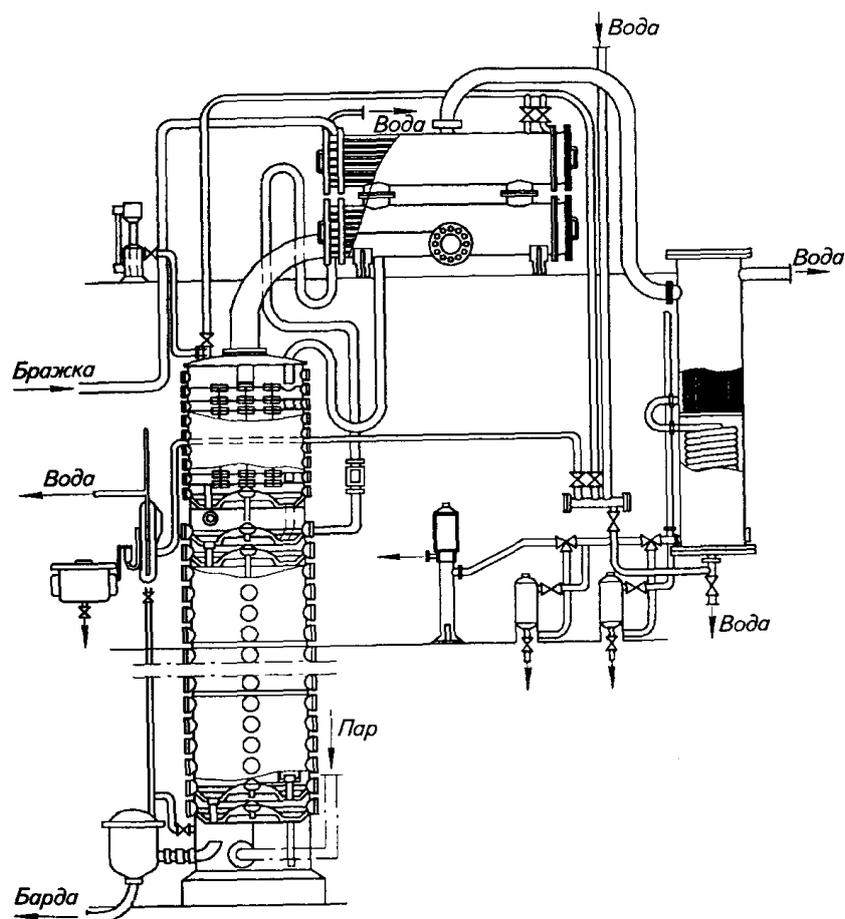
1. Изучить строение и принцип действия одноколонного брагоперегонного аппарата.
2. Рассчитать флегмовое число.
3. Составить материальный и тепловой баланс брагоперегонного аппарата.
4. Рассчитать число тарелок брагоперегонного аппарата.
5. Рассчитать размеры бражной колонны брагоперегонного аппарата.

*1. Строение и принцип действия одноколонного брагоперегонного аппарата.*

На рис. 1 представлена схема одноколонного брагоперегонного аппарата, который включает колонну, двухбарабанный дефлегматор с горизонтальными трубками и холодильник для спирта комбинированного типа. Колонна состоит из двух частей верхней – спиртовой и нижней – бражной. Верхняя трубчатая часть холодильника служит для конденсации водно-спиртовых паров, поступающих из дефлегматора; нижняя змеевиковая часть холодильника – для охлаждения конденсата.

Бражку насосом прокачивают через трубки дефлегматора, где она подогревается теплотой пара, конденсирующегося в дефлегматоре. Подогретая бражка, проходя через смотровой фонарь, поступает на верхнюю тарелку бражной колонны. Греющий пар поступает в нижнюю часть бражной колонны. Количество его регулируют при помощи манометрического парового регулятора.

Истощенная бражка отводится через бардяной поплавковый регулятор. Содержание спирта в отходящей барде контролируется пробным холодильником. Из бражной колонны пары спирта попадают в верхнюю спиртовую колонну. На тарелках этой колонны они укрепляются и поступают в дефлегматор. Флегму, образующуюся в дефлегматоре, направляют на верхнюю тарелку спиртовой колонны; несконденсировавшиеся пары поступают в холодильник, где конденсируются и охлаждаются, образуя спирт-сырец. Последний проходит через фильтр и течет в фонарь. Гидравлический предохранитель предотвращает образование в аппарате вакуума.



**Рис. 1.** Схема одноколонного брагоперегонного аппарата

Исходными данными для расчета брагоперегонного аппарата служат его производительность содержание спирта в бражке (крепость) и в спирте-сырце. Для расчета этих показателей вначале определяют число тарелок в аппарате, диаметр и высоту колонн, диаметр штуцеров для ввода пара, бражки, отвода паров спирта-сырца и барды. Расход пара и воды определяют тепловым расчетом. Для проверки элементов аппарата на прочность делают механический расчет деталей аппарата.

**Таблица 1** – Техническая характеристика одноколонной брагоперегонной установки

|   |         |
|---|---------|
| Производительность при переработке бражки крепостью 7,5 об. %<br>%, дал/сут | 500     |
| Режим работы бражной колонны:   |         |
| избыточное давление, МПа  | До 0,05 |
| средняя температура, °С   | 100     |
| Масса установки, кг   | 9566    |
| Диаметр колонны (внутренний), мм  | 700     |
| Высота колонны, мм  | 8240    |

|   |      |
|---|------|
| Общее число тарелок                                   | 27   |
| В том числе в укрепляющей части:                      |      |
| многоколпачковые                                      | 7    |
| ситчатые  | 2    |
| В истощающей части одноколпачковые                    | 18   |
| Дефлегматор двухбарабанный:                           |      |
| диаметр (внутренний) барабана, мм                     | 600  |
| длина, мм   | 3465 |
| общая площадь поверхности теплообмена, м <sup>2</sup> | 32   |
| масса, кг   | 495  |
| Холодильник спирта:                                   |      |
| диаметр (внутренний), мм                              | 600  |
| высота, мм  | 3806 |
| Площадь поверхности охлаждения, м <sup>2</sup> :      |      |
| трубной части   | 20   |
| змеевиковой части                                     | 5    |
| Масса дефлегматора, кг                                | 1037 |

В спиртовой промышленности наибольшее распространение получили горизонтальные дефлегматоры (табл. 2).

**Таблица 2** – Техническая характеристика горизонтальных дефлегматоров.

| Площадь поверхностей теплообмена, м <sup>2</sup> | Габаритные размеры, мм:<br>длина × ширина × высота | Масса, кг | Диаметр барабана,<br>мм        |
|--|--|-----------|--------------------------------|
| 3,6  | 1930 × 515 × 525                                   | 279       | 300                            |
| 7,2  | 3380 × 520 × 530                                   | 382       | 300                            |
| 12,5   | 2400 × 600 × 520                                   | 535       | 500                            |
| 16   | 3018 × 752 × 776                                   | 748       | 500                            |
| 25   | 2995 × 845 × 856                                   | 1089      | 600                            |
| 31,5   | 3600 × 870 × 945                                   | 1138      | 600                            |
| 40 (вак)   | 3500 × 950 × 950                                   | 1488      | 700                            |
| 63   | 3485 × 890 × 1940                                  | 2383      | 900                            |
| 63 (вак)   | 3632 × 1346 × 2095                                 | 2611      | 900                            |
| 100  | 3206 × 1185 × 1340                                 | 2835      | 1000                           |
|  |  |           | 2 секции                       |
| 40   | 3370 × 795 × 1850                                  | 1731      | 500 (F = 20 м <sup>2</sup> )   |
|  |  |           | 500 (F = 20 м <sup>2</sup> )   |
|  |  |           | 2 секции                       |
| 63   | 3485 × 890 × 1940                                  | 2383      | 600 (F = 31,5 м <sup>2</sup> ) |
|  |  |           | 900 (F = 31,5 м <sup>2</sup> ) |
|  |  |           | 2 секции                       |
| 80   | 3470 × 935 × 1990                                  | 2987      | 700 (F = 40 м <sup>2</sup> )   |
|  |  |           | 700 (F = 40 м <sup>2</sup> )   |
|  |  |           | 2 секции                       |
| 100  | 3618 × 1080 × 2235                                 | 4423      | 800 (F = 50 м <sup>2</sup> )   |
|  |  |           | 800 (F = 50 м <sup>2</sup> )   |
| 200  | 3220 × 1300 × 2780                                 | 5510      |                                |

Горизонтальный дефлегматор (рис. 2) состоит из двух барабанов. Он имеет две трубчатые многоходовые емкости охлаждения. В одной из них по трубам протекает бражка, в другой – охлаждающая вода. Бражка делает в дефлегматоре несколько ходов, направляемая перегородками в распределительных коробках. Бражные трубы дефлегматоров изготавливают из меди, водяные трубы – из стали. Дефлегматор испытывают гидравлическим давлением 0,4 МПа для трубного пространства и 0,15 МПа для межтрубного. Корпус дефлегматора, коробки, крышки, решетки, фланцы, патрубки и трубы водяной секции изготавливают из углеродистой стали; трубы бражной секции – из меди; обечайки, фланцы, днище и решетки – из стали. Для компенсации термических напряжений корпус снабжают линзовым компенсатором.

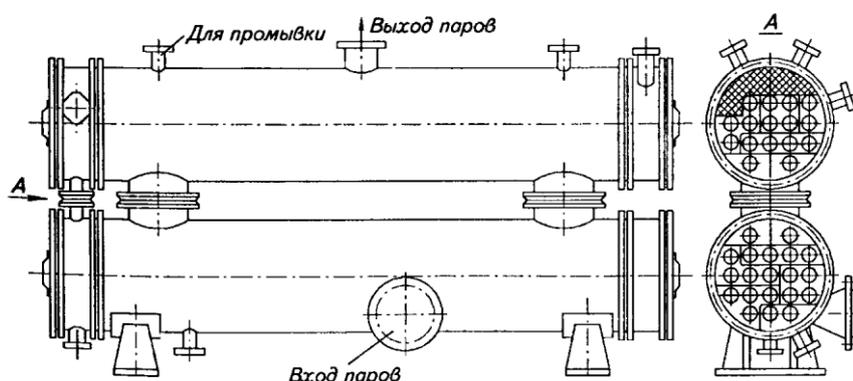


Рис. 2. Схема двухбарабанного горизонтального дефлегматора

## 2. Определение флегмового числа.

Расчет колонны начинают с определения флегмового числа

$$\Phi = \frac{G_{\phi}}{G_{\partial}} \quad (1)$$

где  $G_{\phi}$  – количество флегмы, возвращаемой из дефлегматора в колонну, кг;  $G_{\partial}$  – количество дистиллята, получаемого за тот же период, кг.

Минимальное флегмовое число

$$\Phi_{\min} = \frac{x_{cn} - y_0}{y_0 - x_0} \quad (2)$$

где  $x_{cn}$  – содержание спирта в сырце, мол. %;  $x_0$  – содержание спирта в жидкости, кипящей на тарелке питания, мол. %;  $y_0$  – содержание спирта в парах, равновесных с этой же жидкостью, мол. %.

Если бражка поступает в аппарат при температуре кипения, то  $x_0$  равно содержанию в ней спирта; если она поступает в аппарат (как это обычно бывает) при температуре, более низкой, чем ее температура кипения, то бражка укрепляется в результате конденсации на тарелке питания водно-спиртовых паров, поступающих с нижележащей тарелки.

Содержание спирта в жидкости, находящейся на тарелке питания, можно с достаточной для технических расчетов точностью определить при помощи графика, изображенного на рис. 3. Цифры на кривых соответствуют различным содержаниям спирта в бражке, поступающей на перегонку.

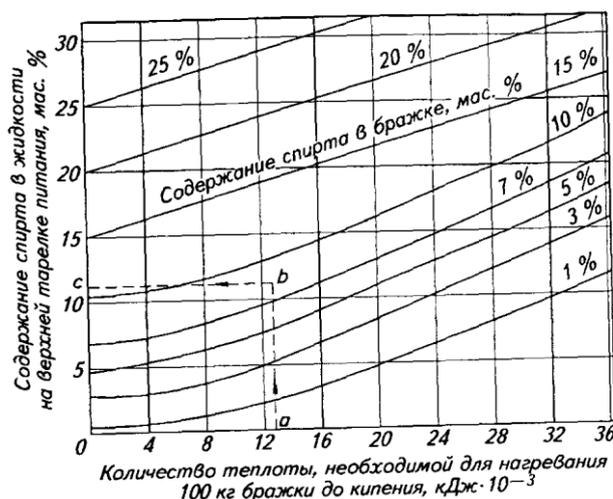


Рис. 3. График для определения крепости кипящей бражки на тарелке питания

Например, для нагревания 100 кг бражки, поступающей на перегонку, с содержанием спирта  $b$  (%) требуется затратить количество теплоты  $Q$  (кДж). Откладывая на графике величину  $Q$  от ее значения по вертикали  $a$ , находим точку  $b$  и от точки  $b$  на вертикальной оси находим значение концентрации спирта  $c$  на тарелке питания.

Количество теплоты, затрачиваемой на нагревание бражки до температуры кипения (кДж)

$$Q = (t_{\text{кин}} - t_{\text{бр}}) c_{\text{бр}} \cdot 100 \quad (3)$$

где  $t_{\text{кин}}$  — температура кипения бражки, °С;  $t_{\text{бр}}$  — температура, с которой бражка поступает в колонну, °С;  $c_{\text{бр}}$  — теплоемкость бражки, кДж/(кг·К).

Теплоемкость бражки определяют по формуле Г. М. Знаменского:

$$c_{\text{бр}} = 4,187(1,019 - 0,0095B_{\text{бр}}) \quad (4)$$

где  $B_{\text{бр}}$  — содержание сухих веществ в бражке, мас. %.

Подставляя в уравнение (2) найденные и заданные значения величин, получим  $\Phi_{\text{min}}$ .

Действительное флегмовое число  $\Phi_{\text{д}}$  равно минимальному, умноженному на коэффициент избытка флегмы:

$$\Phi_{\text{д}} = \Phi_{\text{min}} \beta \quad (5)$$

В зависимости от числа тарелок аппарата и их конструкции величина  $\beta$  колеблется от 1,1 до 2. В среднем принимают  $\beta = 1,5$ .

Пример 1. Определить флегмовое число брагоперегонного аппарата, если содержание сухих веществ в бражке  $B_{бр} = 7,2$  мас. %; содержание спирта в сырце  $x_0 = 86,25$  мас. %; коэффициент избытка флегмы  $\beta = 1,5$ ; концентрация спирта в бражке  $x_{бр} = 7$  мас. %; начальная температура бражки, поступающей в бражную колонну  $t_{бр} = 70$  °С.

Решение. При концентрации спирта в бражке  $x_{бр} = 7$  мас. % температура ее кипения при нормальном давлении  $t_{кин} = 93,35$  °С (Приложение 1).

Теплоемкость бражки по формуле (4)

$$c_{бр} = 4,187(1,019 - 0,0095 \cdot 7,2) = 3,98 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$$

Теплота, расходуемая на нагревание бражки до кипения (по формуле (3),

$$Q = (93,35 - 70)3,98 \cdot 100 = 9240 \text{ кДж}$$

По графику (см. рис. 3) находим концентрацию спирта на питательной тарелке  $x_0 = 8$  мас. % (3,29 мол. %), а по приложению 10 – температуру ее кипения  $t_{кин} = 92,6$  °С.

Содержание спирта в парах, равновесных с этой жидкостью, находим по таблице равновесия (Приложение 1):  $y_0 = 47,6$  мас. % (26,21 мол. %).

Таким образом, минимальное флегмовое число

$$\Phi_{\min} = \frac{71,05 - 26,21}{26,21 - 3,29} = 1,96$$

Действительное флегмовое число

$$\Phi_0 = 1,96 \cdot 1,5 \approx 3.$$

### 3. Материальный и тепловой баланс брагоперегонного аппарата.

Если одноколонный аппарат (без флегматора и холодильника) рассматривать как некоторую замкнутую систему, то можно составить его материальный и тепловой баланс.

#### Материальный баланс

| Приход      |           |                     | Расход                            |           |                               |
|-------------|-----------|---------------------|-----------------------------------|-----------|-------------------------------|
| Продукт     | Состояние | Обозначение         | Продукт                           | Состояние | Обозначение                   |
| Бражка      | Жидкость  | $G_{бр}$            | Пары спирта-сырца                 | Пар       | $D$                           |
| Греющий пар | Пар       | $G_{п}$             | Пары флегмы                       | Пар       | $D_{\phi} = \Phi D$           |
| Флегма      | Жидкость  | $G_{\phi} = \Phi D$ | Барда при обогреве открытым паром | Жидкость  | $G_{бр.ос} + G_{к} = G_{бар}$ |

Здесь  $G_{бр.ос}$  – остаток после перегонки бражки;  $G_{к}$  – конденсат греющего пара;  $G_{бар}$  – барда.

*Тепловой баланс*

| Статья прихода            | Формула для расчета        | Статья расхода                    | Формула для расчета                       |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------------------|---|
| Теплота, вносимая бражкой | $Q_1 = G_{бр}c_{бр}t_{бр}$ | Теплота, уносимая сырцом          | $Q_4 = Di_d$                              |
| Теплота, вносимая паром   | $Q_2 = G_{п}i_{п}$         | Теплота, уносимая паром флегмы    | $Q_5 = \Phi Di_d$                         |
| Теплота, вносимая флегмой | $Q_3 = G_{ф}c_{ф}t_{ф}$    | Теплота, уносимая бардой          | $Q_6 = (G_{бр.ос} + G_{к})c_{бар}t_{бар}$ |
|                           |                            | Потери теплоты в окружающую среду | $Q_7 = 10 \%$                             |

Здесь  $c_{бр}$  и  $c_{ф}$  – теплоемкость бражки и флегмы, кДж/(кг·К);  $t_{бр}$  и  $t_{ф}$  – температура бражки и флегмы, °С;  $i_{п}$  и  $i_d$  – полная энтальпия греющего пара и сырца (дистиллята), кДж/кг;  $t_{бар}$  – температура барды, °С.

Теплоемкость барды определяют по уравнению Г. М. Знаменского:

$$c_{бар} = 4,187(1 - 0,00378B_{бар}) \quad (6)$$

где  $B_{бар}$  – содержание сухих веществ в барде, мас. %.

Потери теплоты в окружающую среду на 100 кг бражки составляют для неизолированной колонны 2100 кДж, для изолированной 840 кДж.

С помощью приведенных в балансах данных составим уравнение теплового баланса

$$G_{бр}c_{бр}t_{бр} + G_{п}i_{п} + G_{ф}c_{ф}t_{ф} = Di_d + \Phi Di_d + (G_{бр.ос} + G_{к})c_{бар}t_{бар} + Q_7. \quad (7)$$

В этом уравнении неизвестны  $D$ ,  $G_{к}$  и  $G_{бр.ос}$ . Мы имеем два уравнения материального и теплового баланса с тремя неизвестными. Может быть составлено и третье уравнение с теми же неизвестными:

$$G_{бр}x_{бр} = Dx_d + (G_{бр.ос} + G_{к})x_{бар}. \quad (8)$$

где  $x_{бр}$ ,  $x_d$ ,  $x_{бар}$  – концентрация спирта соответственно в бражке, спирте-сырце и барде, мас. %.

Решая совместно эти три уравнения, найдем  $D$ ,  $G_{к}$  и  $G_{бр.ос}$ .

Пример 2. Определить количество пара  $G_{п}$ , поступающего в колонну, и количество барды  $G_{бар}$  при концентрации спирта в бражке 7 мас. %, температура ее кипения при нормальном давлении  $t_{кип} = 93,35$  °С;  $c_{бр} = 3,98$  кДж/(кг·К). Концентрация спирта на питательной тарелке 8 мас. % (3,29 мол. %), температура ее кипения 92,6 °С, концентрация этанола в водно-спиртовых парах, выделяющихся на питательной тарелке, 47,6 мас. % (26,21 мол. %), коэффициент избытка пара  $\beta = 1,05$ . Потери теплоты в бражной колонне 840 кДж. Температура бражки, поступающей в колонну  $t_{ср} = 70$  °С.

Решение. Для доведения 100 кг бражки до кипения необходимые затраты теплоты

$$Q = (t_{\text{кип}} - t_{\text{бр}})c_{\text{бр}} \cdot 100 = (93,35 - 0)3,98 \cdot 100 = 9240 \text{ кДж.}$$

Количество водно-спиртовых паров, отходящих от бражной колонны, на 100 кг бражки (с учетом 2% потерь) 99,8 кг

$$G = \frac{99,8x_{\text{бр}}}{y} = \frac{99,8 \cdot 7}{47,6} = 14,6 \text{ кг}$$

где  $y$  – из Приложения 1.

Если учитывать коэффициент избытка пара, то действительное количество водно-спиртовых паров

$$G_{\text{д}} = G\beta = 14,6 \cdot 1,05 = 15,4 \text{ кг}$$

Отсюда действительная концентрация спирта в бражном дистилляте

$$y_{\text{д}} = \frac{7 \cdot 99,8}{15,4} = 45,1 \text{ мас. \% (24,3 мол. \%)}.$$

Составим уравнение материального баланса бражной колонны (на 100 кг бражки)

$$100 + D = 15,4 + G_{\text{бар}}$$

Откуда

$$G_{\text{бар}} = 84,6 + D$$

Составим уравнение теплового баланса

$$27900 + 2680G_{\text{бар}} = 31000 + 35400 + 420D + 840$$

откуда  $D = 17,2$  кг;  $G_{\text{бар}} = 84,6 + 17,2 = 101,8$  кг.

#### 4. Определение числа тарелок.

Для определения числа тарелок брагоперегонного аппарата воспользуемся графическим методом (рис. 4). Для этого в прямоугольных координатах  $y - x$  построим кривую равновесия (мол. %). Уравнение рабочей линии верхней колонны имеет следующий вид:

$$y = \frac{\Phi}{\Phi + 1} x + \frac{x_{\text{д}}}{\Phi + 1} \quad (9)$$

где  $\Phi$  – флегмовое число, найденное выше;  $x_{\text{д}}$  – содержание спирта в сырце мол. %.

При обогревании колонны паром уравнение рабочей линии нижней колонны может быть представлено в таком виде:

$$y = \frac{L_{жс}}{L_n} (x - x_{бар}) \quad (10)$$

где  $L_{жс}$  – количество молей в жидкости, стекающей по тарелкам нижней колонны;  $L_n$  – то же, в паровом потоке;  $x_{бар}$  – содержание спирта в барде, мол. %.

Количество киломолей, содержащихся в паровой фазе, может быть найдено из определенного ранее расхода греющего пара  $G_n$  (кг). Количество киломолей, содержащихся в этом количестве пара, составляет  $G_n/18$ , где 18 – молекулярная масса воды.

При движении пара в колонне количество его может быть принято постоянным, поэтому найденная величина  $G_n/18$  будет искомым количеством молей в паровом потоке. Жидкий поток складывается из трех частей: потока бражки  $L_{бр}$ , потока флегмы, приходящей из спиртовой колонны,  $L_{ф}$  и потока конденсата пара, израсходованного на догревание бражки,  $L_{к}$ .  $L_{бр}$  определяют делением массового количества бражки на ее среднюю молекулярную массу.

Количество молей флегмы

$$L_{ф} = \frac{\Phi D}{M_{\delta}} \quad (11)$$

где  $M_{\delta}$  – средняя молекулярная масса флегмы, которую можно принять равной средней молекулярной массе сырца.

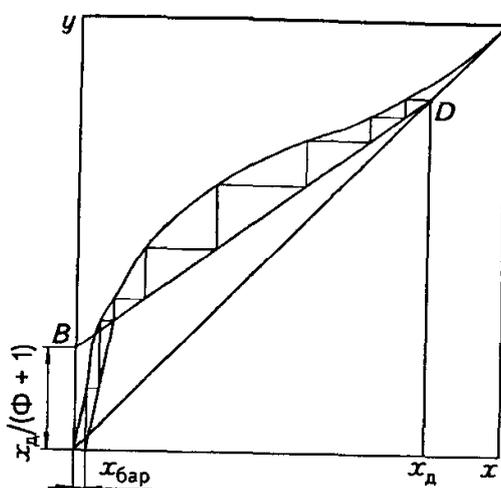


Рис. 4. Построение рабочих линий

Количество молей пара, израсходованного на догревание бражки,

$$L_{к} = \frac{Q}{18r} \quad (12)$$

где  $Q$  – количество теплоты, которая расходуется на нагревание бражки до температуры кипения;  $18r$  – молекулярная теплота конденсации водяного пара.

По уравнениям рабочих линий верхней и нижней колонн строим рабочие линии в координатах  $y - x$  (см. рис. 4). Начинаем с построения рабочей линии верхней колонны. Для этого на горизонтальной оси откладываем значение  $x_d$ , т. е. содержание спирта сырце, и восстанавливаем из точки  $x_d$  перпендикуляр до пересечения с диагональю графика (точка D). На оси ординат откладываем отрезок, равный  $x_d / (\Phi + 1)$  (точка B).

Для построения рабочей линии нижней колонны задаемся двумя значениями  $y$  и находим соответствующие значения  $x$ . Например, при  $y = 0$  находим  $x = x_{бар}$ . Второе значение  $x$  находим при  $y = 10$ . По этим двум точкам строим рабочую линию нижней колонны.

Затем, построив рабочие линии колонны, строим ступени концентрации и определяем теоретическое число контактов  $n_m$ , необходимых для перегонки в заданных условиях. Чтобы определить действительное число тарелок  $n_d$ , число найденных ступеней концентрации делим на средний коэффициент полезного действия тарелок колонны брагоперегонной установки, приведенный ниже.

Графическое определение числа тарелок в интервале концентраций спирта от 0,2 до 0,004 мол. % требует больших масштабов построения и недостаточно точно, поэтому принято пользоваться аналитическим методом, применяя формулу Сореля – Хорина

$$n = \frac{\lg \left[ 1 + \frac{x_n}{x_{бар}} \left( \frac{L_n k}{L_{жс}} - 1 \right) \right]}{\lg \frac{L_n k}{L_{жс}}} - 1$$

где  $n$  – теоретическое число тарелок, необходимых для изменения концентрации спирта от  $x_n$  до  $x_{бар}$ ;  $k$  – коэффициент испарения спирта на участке изменения концентрации спирта от 0,004 до 0,2 мол. %.

Пример 3. Определить число тарелок в бражной колонне, если количество поступающего в колонну пара  $G_{п} = 17,2$  кг, молекулярная масса 18 и давление  $p = 0,147$  МПа, содержание спирта в барде  $x_{бар} = 0,004$  мол. %, молекулярная масса спирта 46, молекулярная теплота конденсации водяного пара  $18r = 2260$  кДж, а для доведения 100 кг бражки до кипения необходимо затратить количество теплоты  $Q = 9240$  кДж.

Решение. Для определения числа тарелок в бражной колонне необходимо составить уравнение рабочей линии колонны

$$y = \frac{L_{жс}}{L_n} (x - x_{бар})$$

Найдем величину парового потока в молях на 100 кг бражки. Поскольку давление греющего пара незначительно отличается от давления в колонне, можно принять, что количество молей пара, поднимающегося в колонне, составит

$$\frac{17,2}{18} = 0,96$$

Поток жидкости  $L_{ж}$  складывается из потоков бражки и конденсата пара, пошедшего на нагревание бражки до кипения на тарелке питания. 100 кг бражки содержат

$$\frac{7}{46} + \frac{93}{18} = 5,3 \text{ моля.}$$

На нагревание 100 кг бражки потребовалось 9240 кДж теплоты, что соответствует

$$\frac{9240}{2260} = 4,1 \text{ кг}$$

или

$$\frac{4,1}{18} = 0,23 \text{ моля}$$

$$L_{жс} = 5,3 + 0,23 = 5,53 \text{ моля}$$

Уравнение рабочей линии колонны будет иметь следующий вид:

$$y = \frac{5,53}{0,96}(x - 0,004)$$

Построим на графике равновесия (рис. 5) прямую линию, отвечающую этому уравнению, и найдем число ступеней концентрации между значениями концентраций от 0,2 до 24,3 мол. %. Число ступеней как видно из рис. 5, равно 4,7.

На участке концентраций от 0,2 до 0,004 мол. % построение требует слишком большого масштаба. Поэтому проведем определение аналитически по формуле Сореля – Харина:

$$n = \frac{\lg \left[ 1 + \frac{0,2}{0,004} \left( \frac{13 \cdot 0,96}{5,53} - 1 \right) \right]}{\lg \frac{13 \cdot 0,96}{5,53}} - 1 = 5$$

Коэффициент испарения этилового спирта  $k$  в интервале концентраций 0,004...0,2 % мол. % принимают равным 13. Следовательно, общее теоретическое число тарелок

$$n_m = 4,7 + 5 = 9,7$$

реальное же число тарелок будет примерно  $n = \frac{9,7}{0,5} = 19,4 \approx 19$  (при КПД тарелок 0,5).

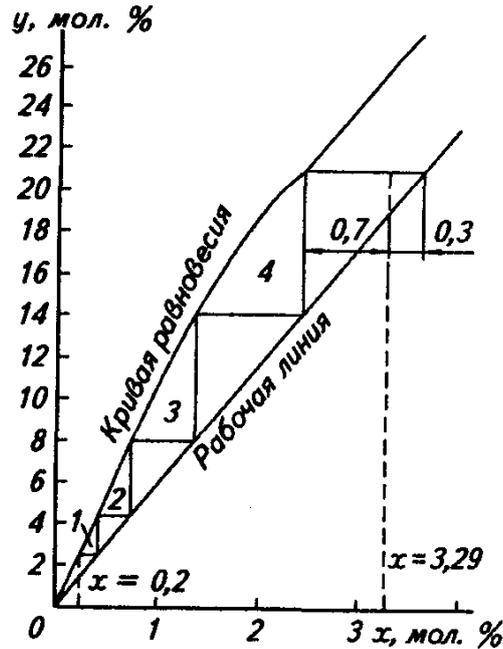


Рис. 5. Графический расчет бражной колонны

### 5. Расчет размеров бражной колонны.

Определив число тарелок расчетным путем или приняв их из практики, можно найти общую высоту колонны. Для этого нужно выбрать расстояние  $h$  (м) между тарелками колонны. Эта величина зависит от состава перегоняемой жидкости, скорости пара в свободном сечении колонны  $v_{нар}$ , глубины барботажного слоя, конструкции тарелки.

Существует ряд уравнений, при помощи которых в зависимости от принятой величины  $h$  и некоторых других факторов можно определить скорость пара  $v_{нар}$  (м/с). Так, для колпачковых тарелок

$$v_{нар} = \frac{0,305h}{60 + 0,05h} - 0,012z \quad (13)$$

где  $z$  — глубина барботажного слоя — расстояние от уровня жидкости на тарелке до нижнего края колпачка, мм.

По уравнению Киршбаума для колпачковых тарелок

$$v_{нар} = A\rho^{-m} \quad (14)$$

где  $m$  и  $A$  — коэффициенты, значения которых зависят от расстояния между тарелками колонны;  $\rho$  — плотность пара,  $\text{кг/м}^3$ .

Уравнения (13) и (14) можно применять для ориентировочного определения значения  $h$  для ситчатых тарелок. Задавшись величиной  $h$ , по этим

формулам можно определить  $v_{нар}$  и, наоборот, задавшись величиной  $v_{нар}$ , можно определить  $h$ .

| $h, мм$ | $A$  | $m$   |
|---------|------|-------|
| 500     | 1,14 | 0,465 |
| 400     | 1,10 | 0,470 |
| 300     | 1,02 | 0,490 |
| 200     | 0,82 | 0,545 |
| 150     | 0,62 | 0,490 |
| 135     | 0,54 | 0,425 |

Зная величину  $h$ , можно определить высоту колонны (м)

$$H = h(n - 1) + h_{куб} + h_{кр} \quad (15)$$

где  $n$  – число тарелок колонны;  $h_{куб}$  – высота кубовой части;  $h_{кр}$  – расстояние от верхней тарелки до верхней крышки колонны, м.

Объем паров, поднимающихся в колонне ( $м^3/с$ )

$$V_{нар} = \frac{\pi d^2}{4} v_{нар} \quad (16)$$

Из предыдущего уравнения диаметр колонны (м)

$$d = \sqrt{\frac{4V_{нар}}{\pi v_{нар}}} \quad (17)$$

Объем паров можно найти следующим образом. Количество пара, поднимающегося в колонне, равно  $G_{np} + \Phi G_{np}$  ( $G_{np}$  – количество дистиллята-продукта;  $\Phi$  – флегмовое число).

Объем этой массы пара ( $м^3/с$ )

$$V_{нар} = \frac{(G_{np} + \Phi G_{np}) 22,4 T_{нар}}{273 p} \quad (18)$$

где 22,4 – объем 1 кмоль при 0 °С и давлении 760 мм рт. ст.;  $T_{нар}$  – абсолютная температура пара;  $p$  – давление пара в рассматриваемом сечении колонны.

Диаметры штуцеров для ввода и вывода продуктов (м)

$$d_{шт} = \sqrt{\frac{4V_{шт}}{\pi v_{шт}}} \quad (19)$$

где  $V_{шт}$  – объем продукта,  $м^3/с$ ;  $v_{шт}$  – скорость течения продукта, м/с.

Ниже приведена зависимость  $v_{np}$  от вида трубопровода.

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| Бражной                             | 0,5...1   |
| Бардяной                            | 0,2...0,8 |
| Спиртовых паров из колонны          | 5...25    |
| Для подвода флегмы в колонну        | 0,1...0,2 |
| Для греющего пара ( $p = 0,15$ МПа) | 15...25   |
| Для подвода эппюрата                | 0,1...0,2 |
| Для отвода лютерной воды            | 0,2...0,8 |

При обогревании колонны открытым паром диаметр барботера принимают равным диаметру трубопровода, подводящего пар. Площадь паровых выпускных отверстий барботера ( $m^2$ )

$$F_{om} = 1,25F_{mp} = 1,25 \frac{\pi d_{mp}^2}{4} \quad (20)$$

где  $F_{mp}$  – площадь сечения трубопровода,  $m^2$ ;  $d_{mp}$  – диаметр трубопровода, м.

Общее число отверстий в барботере

$$n = \frac{4F_{om}}{\pi d_{om}^2} \quad (21)$$

где  $d_{om}$  – диаметр отверстий барботера;  $d_{mp} = 8...10$  мм.

Барботер выполняют в виде трубы, расположенной по диаметральному сечению колонны. Отверстия выполнены только на нижней полуокружности барботера.

Пример 4. Рассчитать основные размеры бражной колонны, если расстояние между тарелками  $h = 0,5$  м; глубина барботажного слоя  $z = 0,05$  м; число тарелок  $n = 25$ ; высота кубовой части  $h_{куб} = 1,5$  м; высота от верхней тарелки до крышки колонны  $h_{кр} = 0,7$ ; количество дистиллята-продукта  $G_{\delta} = 0,072$  кмоль/с; флегмовое число  $\Phi = 3$ ; абсолютная температура пара  $T = 343$  К; объем продукта  $V_{np} = 0,032$  м<sup>3</sup>/с; скорость течения продукта  $v_{np} = 0,75$  м/с; объем дистиллята  $V_{\delta} = 0,0032$  м<sup>3</sup>/с; скорость дистиллята  $v_{\delta} = 10$  м/с; объем греющего пара  $V_n = 0,27$  кг/с; скорость греющего пара  $v_n = 20$  м/с.

Решение. Скорость пара в свободном сечении колонны для колпачковых тарелок

$$v_{nap} = \frac{0,305 \cdot 0,5}{60 + 0,05 \cdot 0,5} - 0,012 \cdot 0,05 = 1,94 \cdot 10^{-3} \text{ м/с.}$$

Высота колонны

$$H = 0,5(25 - 1) + 1,5 + 0,7 = 15,2 \text{ м.}$$

Объем пара, поднимающегося в колонне,

$$V_{\text{пар}} = \frac{(0,072 + 3 \cdot 0,072)22,4 \cdot 343}{273 \cdot 735} = 0,01 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Диаметр колонны

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,01}{3,14 \cdot 1,94 \cdot 10^{-3}}} = 2,56 \text{ м}.$$

Диаметр штуцера для ввода продукта

$$d_{\text{шт.ввод}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,032}{3,14 \cdot 0,75}} = 0,23 \text{ м}.$$

Диаметр штуцера для вывода продукта

$$d_{\text{шт.вывод}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0032}{3,14 \cdot 0,10}} = 0,2 \text{ м}.$$

При обогревании колонны открытым паром диаметр барботера принимают равным диаметру трубопровода, проводящего пар. Диаметр барботера

$$d_{\sigma} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,27}{3,14 \cdot 20}} = 0,13 \text{ м}.$$

Площадь паровыпускных отверстий барботера

$$F_{\text{от}} = 1,25 \frac{3,14 \cdot 0,13^2}{4} = 0,01 \text{ м}^2.$$

Общее число отверстий в барботере

$$n = \frac{4 \cdot 0,01}{3,14 \cdot 10^2} = 214,9 \approx 215.$$

### **Задания для самостоятельной работы:**

**1.** Определить флегмовое число брагоперегонного аппарата, если содержание сухих веществ в бражке  $V_{\text{бр}} = 8,6$  мас. %; содержание спирта в сырце  $x_{\text{д}} = 86,0$  мас. %; коэффициент избытка флегмы  $\beta = 1,5$ ; концентрация спирта в бражке  $x_{\text{бр}} = 9$  мас. %; начальная температура бражки, поступающей в бражную колонну  $t_{\text{бр}} = 72$  °С.

**2.** Определить флегмовое число брагоперегонного аппарата, если содержание сухих веществ в бражке  $V_{\text{бр}} = 6,9$  мас. %; содержание спирта в сырце  $x_{\text{д}} = 86,5$  мас. %; коэффициент избытка флегмы  $\beta = 1,5$ ; концентрация спирта в бражке  $x_{\text{бр}} = 6$  мас. %; начальная температура бражки, поступающей в бражную колонну  $t_{\text{бр}} = 70$  °С.

**3.** Определить количество пара  $G_{\text{п}}$ , поступающего в колонну, и количество барды  $G_{\text{бар}}$  при концентрации спирта в бражке 8 мас. %, температура ее кипения при нормальном давлении  $t_{\text{кип}} = 92,6$  °С;  $c_{\text{бр}} = 3,98$  кДж/(кг·

К). Концентрация спирта на питательной тарелке 9 мас. % (3,73 мол. %), температура ее кипения 91,9 °С, концентрация этанола в водно-спиртовых парах, выделяющихся на питательной тарелке, 50,0 мас. % (28,12 мол. %), коэффициент избытка пара  $\beta = 1,05$ . Потери теплоты в бражной колонне 860 кДж. Температура бражки, поступающей в колонну  $t_{cp} = 69$  °С.

4. Определить количество пара  $G_n$ , поступающего в колонну, и количество барды  $G_{бар}$  при концентрации спирта в бражке 6 мас. %, температура ее кипения при нормальном давлении  $t_{кип} = 94,15$  °С;  $c_{бр} = 3,98$  кДж/(кг·К). Концентрация спирта на питательной тарелке 8 мас. % (3,29 мол. %), температура ее кипения 92,6 °С, концентрация этанола в водно-спиртовых парах, выделяющихся на питательной тарелке, 47,6 мас. % (26,21 мол. %), коэффициент избытка пара  $\beta = 1,05$ . Потери теплоты в бражной колонне 900 кДж. Температура бражки, поступающей в колонну  $t_{cp} = 72$  °С.

5. Определить число тарелок в бражной колонне, если количество поступающего в колонну пара  $G_n = 16,8$  кг, молекулярная масса 18 и давление  $p = 0,147$  МПа, содержание спирта в барде  $x_{бар} = 0,003$  мол. %, молекулярная масса спирта 46, молекулярная теплота конденсации водяного пара  $18r = 2260$  кДж, а для доведения 100 кг бражки до кипения необходимо затратить количество теплоты  $Q = 9240$  кДж.

6. Рассчитать основные размеры бражной колонны, если расстояние между тарелками  $h = 0,4$  м; глубина барботажного слоя  $z = 0,05$  м; число тарелок  $n = 25$ ; высота кубовой части  $h_{куб} = 1,5$  м; высота от верхней тарелки до крышки колонны  $h_{кр} = 0,7$ ; количество дистиллята-продукта  $G_d = 0,062$  кмоль/с; флегмовое число  $\Phi = 3$ ; абсолютная температура пара  $T = 343$  К; объем продукта  $V_{np} = 0,030$  м<sup>3</sup>/с; скорость течения продукта  $v_{np} = 0,6$  м/с; объем дистиллята  $V_d = 0,0030$  м<sup>3</sup>/с; скорость дистиллята  $v_d = 10$  м/с; объем греющего пара  $V_n = 0,25$  кг/с; скорость греющего пара  $v_n = 20$  м/с.

### Контрольные вопросы:

1. Что называется бражкой?
2. Что называется перегонкой, ректификацией?
3. Опишите строение и принцип действия одноколонного брагоперегонного аппарата.
4. Опишите строение и принцип действия горизонтального дефлегматора.
5. Что называется флегмовым числом?
6. Методика определения флегмового числа.
7. Методика составления материального и теплового баланса брагоперегонного аппарата.
8. Методика определения количества тарелок брагоперегонного аппарата.
9. Методика расчета размеров бражной колонны.

## ТЕМА 6. РАСЧЕТ СМЕСИТЕЛЯ С МЕШАЛКОЙ ПРОПЕЛЛЕРНОГО ТИПА

**Цель занятия:** усвоить теоретические основы процесса перемешивания, научиться самостоятельно рассчитывать параметры работы смесителя с мешалкой пропеллерного типа.

**Задание:**

1. Изучить строение и принцип действия смесителя с мешалкой пропеллерного типа.

2. Рассчитать параметры работы смесителя с мешалкой пропеллерного типа.

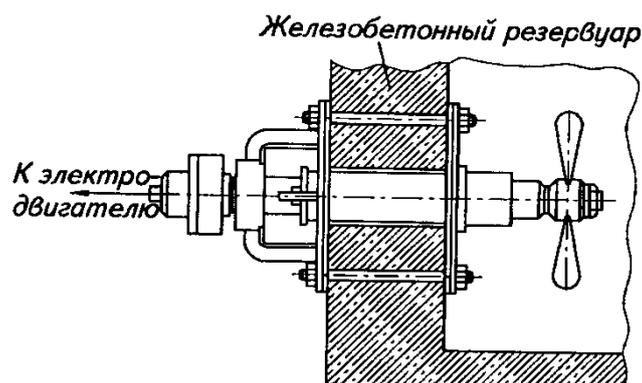
*1. Строение и принцип действия смесителя с мешалкой пропеллерного типа.*

Для проведения процессов оклейки, спиртования или купажирования в отдельных емкостях, при рыхлении мезговой «шапки» применяют насосы или специальные механические перемешивающие устройства (табл. 1).

**Таблица 1** – Техническая характеристика перемешивающих устройств

| Показатель                            | В-НМЗ      | УПМ-3М     |
|---------------------------------------|------------|------------|
| Производительность, м <sup>3</sup> /ч | 1,5        | 62         |
| Шнек:                                 |            |            |
| диаметр, мм                           | -          | 171        |
| шаг, мм                               | -          | 95         |
| частота вращения, мин <sup>-1</sup>   | -          | 1420       |
| Пропеллер:                            |            |            |
| число лопастей                        | 2          | -          |
| диаметр, мм                           | 250        | -          |
| частота вращения, мин <sup>-1</sup>   | 1500       | -          |
| Мощность привода, кВт                 | 2,2        | 1,7        |
| Габаритные размеры, мм                | 300 × 1065 | 475 × 2930 |
| Масса, кг                             | 60         | 59,5       |

По конструкции рабочего органа перемешивающие устройства подразделяют на лопастные, пропеллерные турбинные и шнековые, создающие тангенциальное, радиальное, аксиальное, а также смешанное течения.



**Рис. 1.** Схема пропеллерной мешалки

Предназначенная для перемешивания виноматериалов пропеллерная мешалка Б-НМЗ (рис. 1) имеет корпус, представляющий собой кронштейн с фланцем, прикрепленный к стенке резервуара стяжными шпильками. Вал мешалки соосно соединен с электродвигателем муфтой сцепления.

2. *Расчет смесителя с мешалкой пропеллерного типа.*

Производительность смесителей с мешалками (кг/с)

$$G_{см} = \frac{G_{np}}{\tau_n} \quad (1)$$

где  $G_{np}$  – масса продукта в смесителе, кг;  $\tau_n$  – продолжительность цикла перемешивания, с;  $\tau_n = 20$  мин.

Масса продукта в смесителе (кг)

$$G_{np} = 0,8\pi D_{рез}^2 H_{рез} \rho_{np}, \quad (2)$$

где 0,8 – 80 % заполнения;  $D_{рез}$  – диаметр резервуара, м;  $H_{рез}$  – высота резервуара, м;  $\rho_{np}$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

Расчетная мощность (Вт), необходимая для перемешивания среды при установившемся режиме,

$$N_1 = K_N n_{меш}^3 d_{меш}^5 \rho_{np} \quad (3)$$

где  $K_N = f(Re)$  – критерий мощности (рис. 2);  $d_{меш}$  – диаметр мешалки, мм;  $d_{меш} = 40 + 2 \cdot 20 = 80$  мм;  $n_{меш}$  – частота вращения мешалки, с<sup>-1</sup>;  $\mu$  – динамическая вязкость среды, Па·с;  $\mu = 52 \cdot 10^{-4}$  Па·с.

$$Re = \frac{n_{меш} d_{меш}^2 \rho_{np}}{\mu} \quad (4)$$

$$n_{меш} = \frac{\omega}{2\pi}$$

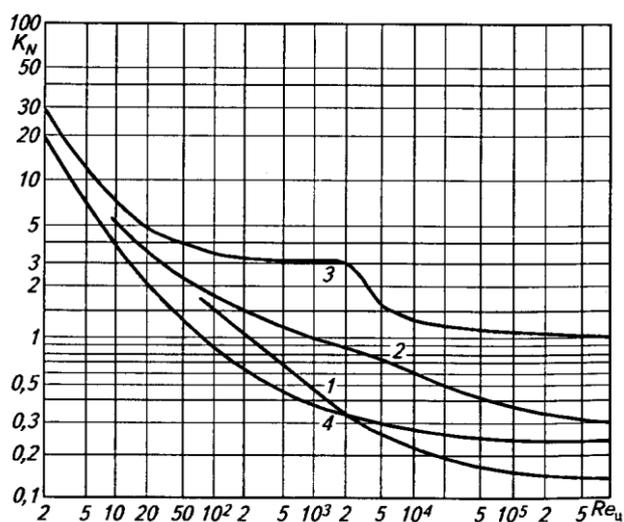
Мощность на преодоление сил трения в сальнике

$$N_2 = 1,48 f n_{\text{меш}} d_{\text{меш}}^2 l_{\text{наб}} p \quad (5)$$

где  $f$  – коэффициент трения вала о набивку сальника;  $f = 0,2$ ;  $d_{\text{вал}}$  – диаметр вала мешалки, мм;  $d_{\text{вал}} = 40$  мм;  $l_{\text{наб}}$  – длина набивки, мм;  $l_{\text{наб}} = 20$  мм;  $p$  – рабочее давление в аппарате, Па.

Рабочее давление в аппарате (Па)

$$p = 0,8 \rho_{\text{пр}} g H_{\text{рез}} \quad (6)$$



**Рис. 2.** График для определения критерия мощности  $K_N$  перемешивающих устройств:  
 1 – для двухлопастных перемешивающих устройств; 2 – для якорных и рамных;  
 3 – для турбинных; 4 – для пропеллерных

Расчетная номинальная мощность на валу электродвигателя (кВт)

$$N = \frac{N_1 + N_2}{\eta} \quad (7)$$

где  $\eta$  – КПД привода;  $\eta = 0,9 \dots 0,95$ .

*Расчет вала на прочность*

Крутящий момент (кН·м)

$$M_{\text{кр}} = \frac{0,163 N_1}{\omega} \quad (8)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения мешалки, рад/с.

Диаметр вала (м)

$$d_{вал} = 1,613 \sqrt{\frac{M_{кр}}{[\tau]}} \quad (9)$$

где  $[\tau]$  – допускаемое напряжение на кручение, МПа;  $[\tau] = 12$  МПа.

Пример 1. Рассчитать мощность и диаметр пропеллерной мешалки для интенсивного перемешивания суспензии в резервуаре диаметром  $D_{рез} = 1$  м и высотой  $H_{рез} = 1,2$  м, если плотность материала  $\rho_{пр} = 1295$  кг/м<sup>3</sup>, продолжительность цикла перемешивания  $\tau_n = 20$  мин, угловая скорость вращения  $\omega = 31,4$  рад/с; динамическая вязкость среды  $\mu = 52 \cdot 10^{-4}$  Па·с; длина сальниковой набивки  $l_{наб} = 0,02$  м.

Решение. Масса продукта в смесителе

$$G_{пр} = 0,8 \cdot 3,14 \cdot 1^2 \cdot 1,2 \cdot 1295 = 3903 \text{ кг}$$

Производительность смесителя с мешалкой

$$G_{см} = \frac{3903}{20 \cdot 60} = 32,5 \text{ кг/с}$$

Частота вращения мешалки

$$n_{меш} = \frac{31,4}{2\pi} = 5 \text{ с}^{-1}$$

Центробежный критерий Рейнольдса

$$Re = \frac{1295 \cdot 5 \cdot 0,08^2}{52 \cdot 10^{-4}} = 7969$$

где  $n_{меш} = \frac{31,4}{2\pi} = 5 \text{ с}^{-1}$

следовательно,  $K_N = 0,3$ .

Расчетная мощность, необходимая для перемешивания среды при установившемся режиме,

$$N_1 = 0,3 \cdot 1295 \cdot 5^3 \cdot 0,08^5 = 0,15 \text{ кВт}$$

Рабочее давление в аппарате

$$p = 0,8 \cdot 1295 \cdot 9,81 \cdot 1,2 = 12195 \text{ Па}$$

Мощность, расходуемая на преодоление силы трения,

$$N_2 = 1,48 \cdot 0,2 \cdot 5 \cdot 0,04^2 \cdot 0,02 \cdot 12195 = 0,57 \text{ кВт}$$

Расчетная номинальная мощность на валу электродвигателя

$$N = \frac{0,15 + 0,57}{0,92} = 0,78 \text{ кВт}$$

### Расчет вала на прочность

Крутящий момент

$$M_{кр} = \frac{0,163 \cdot 0,15}{31,4} = 7,787 \cdot 10^{-4} \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Диаметр вала

$$[d_{вал}] = 1,613 \sqrt[3]{\frac{7,787}{12 \cdot 10^{-4}}} = 0,0687 \text{ м} > 0,04 \text{ м}$$

### Задания для самостоятельной работы:

1. Рассчитать мощность и диаметр пропеллерной мешалки для интенсивного перемешивания суспензии в резервуаре диаметром  $D_{рез} = 1,5$  м и высотой  $H_{рез} = 1,7$  м, если плотность материала  $\rho_{np} = 1380$  кг/м<sup>3</sup>, продолжительность цикла перемешивания  $\tau_n = 18$  мин, угловая скорость вращения  $\omega = 42,4$  рад/с; динамическая вязкость среды  $\mu = 46 \cdot 10^{-4}$  Па·с; длина сальниковой набивки  $l_{наб} = 0,02$  м.

2. Рассчитать мощность и диаметр пропеллерной мешалки для интенсивного перемешивания суспензии в резервуаре диаметром  $D_{рез} = 1$  м и высотой  $H_{рез} = 0,8$  м, если плотность материала  $\rho_{np} = 1420$  кг/м<sup>3</sup>, продолжительность цикла перемешивания  $\tau_n = 24$  мин, угловая скорость вращения  $\omega = 38,4$  рад/с; динамическая вязкость среды  $\mu = 52 \cdot 10^{-4}$  Па·с; длина сальниковой набивки  $l_{наб} = 0,032$  м.

3. Рассчитать мощность и диаметр пропеллерной мешалки для интенсивного перемешивания суспензии в резервуаре диаметром  $D_{рез} = 1,2$  м и высотой  $H_{рез} = 1,4$  м, если плотность материала  $\rho_{np} = 2000$  кг/м<sup>3</sup>, продолжительность цикла перемешивания  $\tau_n = 26$  мин, угловая скорость вращения  $\omega = 54,3$  рад/с; динамическая вязкость среды  $\mu = 61 \cdot 10^{-4}$  Па·с; длина сальниковой набивки  $l_{наб} = 0,02$  м.

4. Рассчитать мощность и диаметр пропеллерной мешалки для интенсивного перемешивания суспензии в резервуаре диаметром  $D_{рез} = 1,6$  м и высотой  $H_{рез} = 2,0$  м, если плотность материала  $\rho_{np} = 1550$  кг/м<sup>3</sup>, продолжительность цикла перемешивания  $\tau_n = 19$  мин, угловая скорость вращения  $\omega = 32,6$  рад/с; динамическая вязкость среды  $\mu = 51 \cdot 10^{-4}$  Па·с; длина сальниковой набивки  $l_{наб} = 0,016$  м.

### Контрольные вопросы:

1. Для каких целей применяют перемешивание?
2. Как по конструкции рабочего органа классифицируют устройства для перемешивания виноматериалов?
3. Опишите строение и принцип действия смесителя с мешалкой пропеллерного типа.
4. Методика расчета параметров работы смесителя с мешалкой пропеллерного типа.

## ТЕМА 7. РАСЧЕТ ОТСТОЙНОЙ И ФИЛЬТРУЮЩЕЙ ЦЕНТРИФУГИ

**Цель занятия:** усвоить теоретические основы процесса осветления виноматериалов в поле действия центробежных сил, научиться самостоятельно рассчитывать параметры работы отстойной (осадительной) и фильтрующей центрифуги.

### **Задание:**

1. Изучить строение и принцип действия отстойной и фильтрующей центрифуги.
2. Рассчитать параметры работы отстойной (осадительной) центрифуги.
3. Рассчитать параметры работы фильтрующей центрифуги.

### *1. Строение и принцип действия отстойной и фильтрующей центрифуги.*

В процессе производства продукты виноделия подвергают физико-механической обработке: осветлению, перемешиванию, сульфитированию, спиртованию и т. п.

Для осветления виноматериалов чаще всего применяют отстаивание, осаждение в поле центробежных сил, фильтрование.

Отстаивание проводят в аппаратах различных конструкций, в которых осаждение частиц происходит под действием гравитационной силы.

Осветление виноматериалов путем осаждения в поле центробежных сил осуществляется в сепараторах, центрифугах, гидроциклонах.

В виноделии применяют центрифуги отстойного и фильтрующего типов.

Отстойные (осадительные) центрифуги (табл. 1) можно применять для осветления сусле и плодово-ягодных соков, разделения суспензии виннокислого кальция и т. п.

Отстойная центрифуга (рис. 1) состоит из конического ротора и внутреннего шнекового устройства, размещенных в корпусе.

**Таблица 1** – Техническая характеристика отстойных (осадительных) центрифуг

| Показатель                          | ОГШ-321-Н-5 | ОГШ-202К-03 | ОГШ-207К-04 | ОГШ-353К-09 | ОГШ-802К-07 | ОГШ-1001У-03 |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Внутренний диаметр ротора, м        | 325         | -           | -           | -           | -           | -            |
| Фактор разделения                   | 2230        | 4000        | 3760        | 3209        | 1530        | 616          |
| Частота вращения, мин <sup>-1</sup> | 3500        | 6000        | 5800        | 4050        | 1850        | 1000         |

|   |                            |                            |                             |                              |                              |                              |
|---|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Отношение рабочей длины ротора к его внутреннему диаметру (наибольшему) | -                          | 3,5                        | 3,1                         | 2,85                         | 2,2                          | 3,6                          |
| Мощность привода, кВт   | -                          | 5,5                        | 7,5                         | 30                           | 90                           | 110                          |
| Габаритные размеры, мм  | 1560 ×<br>× 970 ×<br>× 650 | 1490 ×<br>× 860 ×<br>× 590 | 1710 ×<br>× 1170 ×<br>× 708 | 2630 ×<br>× 1860 ×<br>× 1135 | 4370 ×<br>× 2770 ×<br>× 1395 | 6730 ×<br>× 3460 ×<br>× 1885 |
| Масса, кг   | 520                        | 490                        | 890                         | 2870                         | 9000                         | 17700                        |

Суспензия подается через полый вал во внутреннюю полость шнека, откуда через окна поступает в ротор, в котором под действием центробежной силы твердые частицы отбрасываются к стенкам ротора, а жидкость образует внутреннее кольцо. Образовавшийся осадок вследствие отставания частоты вращения шнека от частоты вращения ротора перемещается вдоль него к выгрузочным окнам в узкой части ротора. Осветленное сусло отводится через сливные отверстия в торце ротора.

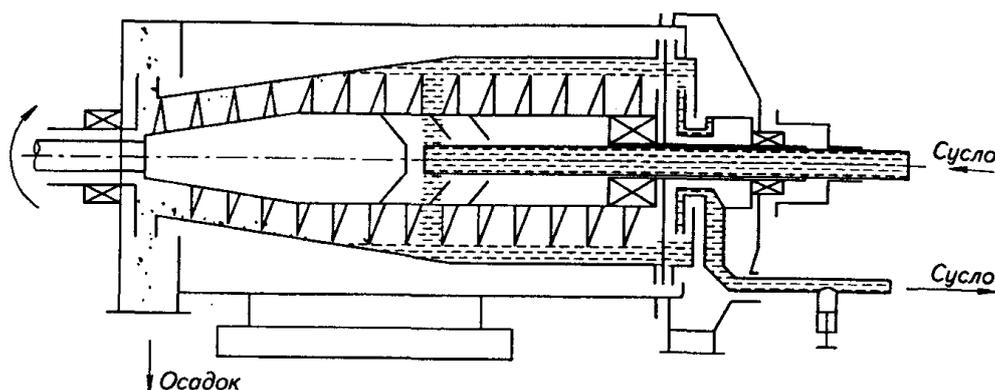


Рис. 1. Схема отстойной центрифуги

Фильтрующие центрифуги (табл. 2) применяют в виноделии при производстве виннокислотной кислоты и виннокислой извести, извлечении вина из тканевых салфеток после фильтрации, а также для выделения жидкости из дрожжевых осадков. Центрифуги подразделяют на центрифуги периодического и непрерывного действия.

Таблица 2 – Техническая характеристика фильтрующих центрифуг

| Показатель                                 | ФМБ-602-Н-3       | ФГШ 401К-05       | ФГШ 633К-03       |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|
| Внутренний диаметр ротора, м               | 0,6               | 0,6               | 0,63              |
| Частота вращения ротора, мин <sup>-1</sup> | 1450              | 3000              | 2500              |
| Фактор разделения                          | 710               | 2010              | 2200              |
| Мощность привода, кВт                      | 2,8               | 18,5              | 22                |
| Габаритные размеры, м                      | 1,4 × 1,08 × 0,91 | 1,4 × 1,08 × 0,91 | 2,27 × 1,7 × 1,88 |
| Масса, кг                                  | 530               | 1130              | 1170              |

Фильтрующая центрифуга периодического действия (рис. 2) имеет перфорированный барабан, который укреплен на вертикальной оси, а его внутренняя поверхность обтянута фильтровальной тканью.

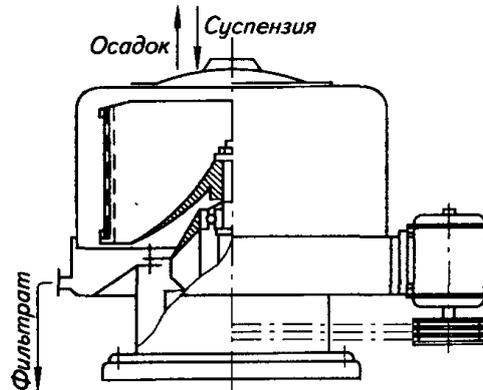


Рис. 2. Схема фильтрующей центрифуги периодического действия

После загрузки суспензии сверху барабан приводится во вращение и она отбрасывается под действием центробежной силы к фильтровальной ткани на его внутренней поверхности. Происходит разделение суспензии на осадок и фильтрат, который собирается в нижней части корпуса, а осадок, оставшийся на стенках барабана после цикла фильтрования, выгружают через крышку вручную.

## 2. Расчет отстойной (осадительной) центрифуги.

Производительность отстойных центрифуг ( $\text{м}^3/\text{ч}$ )

$$G_{ц} = kF_{сусп} v_{ос.ц} \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности;  $F_{сусп}$  – площадь поверхности зеркала суспензии в барабане,  $\text{м}^2$ ;  $v_{ос.ц}$  – скорость центробежного осаждения,  $\text{м}/\text{с}$ .

Площадь поверхности зеркала суспензии в барабане ( $\text{м}^2$ )

$$F_{сусп} = 2\pi R_{вн} L_{бар} \quad (2)$$

где  $R_{вн}$  – внутренний радиус кольцевого слоя суспензии,  $\text{м}$ ;  $L_{бар}$  – длина барабана,  $\text{м}$ .

Скорость ( $\text{м}/\text{с}$ ) центробежного осаждения

$$v_{ос.ц} = v_{ос.г} \Phi \quad (3)$$

где  $v_{ос.г}$  – скорость гравитационного осаждения,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $\Phi$  – фактор разделения.

Фактор разделения

$$\Phi = 4R_{вн} n^2 \quad (4)$$

где  $n$  – частота вращения центрифуги,  $\text{с}^{-1}$ .

Скорость гравитационного осаждения частиц (м/с) определяют по формуле Стокса при условии ламинарного режима

$$v_{ос.г} = \frac{(\rho_ч - \rho_{ср})d_ч^2 g}{18\mu_{ср}} \quad (5)$$

где  $\rho_ч$  – плотность частицы, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{ср}$  – плотность среды, кг/м<sup>3</sup>;  $d_ч$  – диаметр частицы,  $\mu_{ср}$  – динамическая вязкость среды, Па·с.

Условием ламинарного режима является выполнение следующего неравенства:

$$Re = \frac{v_{ос.г} d_ч \rho_{ср}}{\mu_{ср}} \leq 2 \quad (6)$$

Окончательное выражение для расчета производительности (м<sup>3</sup>/ч) отстойных центрифуг с ножевым съемом осадка

$$G_ч = 91080kL_{бар} n^2 R_{вн}^2 v_{ос.г} c \quad (7)$$

где  $n$  – частота вращения центрифуги, с<sup>-1</sup>;  $c$  – отношение продолжительности подачи суспензии к общему циклу работы центрифуги;  $c = \frac{\tau_{нод}}{\tau_ч}$ .

Пример 1. Определить производительность отстойной центрифуги, если диаметр барабана  $D_{бар} = 0,8$  м; длина барабана  $L_{бар} = 0,4$  м; диаметр борта  $D_б = 0,57$  м; частота вращения центрифуги  $20$  с<sup>-1</sup>; размер частиц  $d_ч = 5$  мкм, плотность частиц  $\rho_ч = 2000$  кг/м<sup>3</sup>; динамическая вязкость среды  $\mu_{ср} = 0,8 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотность среды  $\rho_{ср} = 1000$  кг/м<sup>3</sup>; общий цикл работы центрифуги  $\tau_ч = 22$  мин; продолжительность подачи суспензии  $\tau_{нод} = 20$  мин; время разгрузки осадка  $\tau_{разгр} = 2$  мин, коэффициент пропорциональности  $k = 0,45$ .

Решение. Скорость гравитационного осаждения

$$v_{ос.г} = \frac{9,81 \cdot 5^2 \cdot 10^{-12} (2000 - 1000)}{18 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3}} = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$$

Скорость осаждения под действием центробежной силы

$$v_{ос.ц} = 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{0,285 \cdot 1200^2}{900} = 7,75 \cdot 10^3 \text{ м/с}$$

Проверка режима осаждения

$$Re = \frac{7,75 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 10^3} = 0,048$$

т. е. режим ламинарный, так как  $Re < 0,2$ .

Находим

$$c = \frac{20}{22} = 0,909$$

Производительность центрифуги

$$G_u = 91080 \cdot 0,45 \cdot 0,4 \cdot 1200^2 \cdot 0,285^2 \cdot 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 0,909 = 8,24 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

### 3. Расчет фильтрующей центрифуги.

Фактор разделения

$$\Phi = \frac{\omega_{\text{бар}}^2 R_{\text{ер}}}{g} \quad (8)$$

где  $\omega_{\text{бар}}$  – угловая скорость вращения барабана, рад/с;  $R_{\text{ер}}$  – радиус вращения, м.

Радиус вращения (м)

$$R_{\text{ер}} = \frac{R_{\text{бар}} + R_{\text{нр}}}{2} \quad (9)$$

где  $R_{\text{бар}}$  – радиус барабана, мм;  $R_{\text{нр}}$  – радиус внутреннего кольца продукта, мм.

Производительность (кг/с)

$$G = \frac{V}{\sum \tau_{\phi}} \quad (10)$$

где  $V$  – масса загружаемого в барабан материала, кг;  $\sum \tau_{\phi}$  – длительность цикла фильтрования, с.

Масса загружаемого в барабан материала (кг)

$$V = \pi(R_{\text{бар}}^2 - R_{\text{нр}}^2)H_{\text{бар}}\rho_{\text{нр}} \quad (11)$$

где  $H_{\text{бар}}$  – высота барабана, мм;  $\rho_{\text{нр}}$  – плотность продукта, кг/м<sup>3</sup>.

Давление фильтрации (МПа)

$$P_{\phi} = \frac{P_u}{F_{\phi}} \quad (12)$$

где  $P_u$  – центробежная сила, Н;  $F_{\phi}$  – средняя площадь поверхности фильтрации м<sup>2</sup>.

Центробежная сила (Н)

$$P_u = m_{\text{нр}} \omega_{\text{бар}}^2 R_{\text{нр}} \quad (13)$$

где  $m_{\text{нр}}$  – масса продукта, кг.

$$m_{\text{нр}} = V\rho_{\text{нр}} \quad (14)$$

Средняя площадь поверхности фильтрации ( $\text{м}^2$ )

$$F_{\phi} = \pi D_{\text{бар}} H_{\text{бар}} \quad (15)$$

где  $D_{\text{бар}}$  – внутренний диаметр барабана, м.

Пример 2. Рассчитать фактор разделения, производительность и давление фильтрации фильтрующей центрифуги, если высота барабана  $H_{\text{бар}} = 0,3$  м; угловая скорость вращения барабана  $\omega_{\text{бар}} = 178$  рад/с; внутренний диаметр барабана  $D_{\text{бар}} = 2R_{\text{бар}} = 0,6$  м; диаметр внутреннего кольца продукта  $D_{\text{пр}} = 0,32$  м; плотность продукта  $\rho_{\text{пр}} = 1380$  кг/м<sup>3</sup>; длительность цикла фильтрования  $\sum \tau_{\phi} = 10$  мин.

Решение. Фактор разделения на формуле (8)

$$\Phi = \frac{178^2 \cdot 0,23}{9,81} = 742,8$$

Внутренний радиус кольца продукта

$$R_{\text{пр}} = \frac{0,32}{2} = 0,16 \text{ м}$$

Масса загружаемого материала

$$V = 3,14(0,3^2 - 0,16^2)0,3 \cdot 1380 = 83,71 \text{ кг}$$

Производительность фильтрующей центрифуги

$$G = \frac{83,71}{10 \cdot 60} = 0,139 \text{ кг/с}$$

Зная объем и плотность продукта, можно определить центробежную силу

$$P_u = 83,71 \cdot 178^2 \cdot 0,23 = 610 \cdot 10^3 \text{ Н}$$

Средняя площадь поверхности фильтрации

$$F_{\phi} = 3,14 \cdot 0,6 \cdot 0,3 = 0,57 \text{ м}^2$$

Давление фильтрации

$$p_{\phi} = \frac{610}{0,57} = 1,079 \text{ МПа}$$

**Задания для самостоятельной работы:**

1. Определить производительность отстойной центрифуги, если радиус барабана  $R_{\text{бар}} = 0,3$  м; длина барабана  $L_{\text{бар}} = 0,36$  м; диаметр борта  $D_{\sigma} = 0,5$  м; частота вращения центрифуги  $20 \text{ с}^{-1}$ ; размер частиц  $d_u = 4$  мкм, плотность частиц  $\rho_u = 1800$  кг/м<sup>3</sup>; динамическая вязкость среды

$\mu_{cp} = 0,75 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотность среды  $\rho_{cp} = 1000$  кг/м<sup>3</sup>; общий цикл работы центрифуги  $\tau_{ц} = 20$  мин; продолжительность подачи суспензии  $\tau_{под} = 19$  мин; время разгрузки осадка  $\tau_{разгр} = 1$  мин, коэффициент пропорциональности  $k = 0,45$ .

2. Определить производительность отстойной центрифуги, если диаметр барабана  $D_{бар} = 0,78$  м; длина барабана  $L_{бар} = 0,46$  м; диаметр борта  $D_{б} = 0,53$  м; частота вращения центрифуги  $22$  с<sup>-1</sup>; размер частиц  $d_{ч} = 8$  мкм, плотность частиц  $\rho_{ч} = 1960$  кг/м<sup>3</sup>; динамическая вязкость среды  $\mu_{cp} = 0,9 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотность среды  $\rho_{cp} = 1100$  кг/м<sup>3</sup>; общий цикл работы центрифуги  $\tau_{ц} = 24$  мин; продолжительность подачи суспензии  $\tau_{под} = 22$  мин; время разгрузки осадка  $\tau_{разгр} = 2$  мин, коэффициент пропорциональности  $k = 0,55$ .

3. Рассчитать фактор разделения, производительность и давление фильтрации фильтрующей центрифуги, если высота барабана  $H_{бар} = 0,54$  м; угловая скорость вращения барабана  $\omega_{бар} = 170$  рад/с; внутренний диаметр барабана  $D_{бар} = 2R_{бар} = 0,66$  м; диаметр внутреннего кольца продукта  $D_{пр} = 0,34$  м; плотность продукта  $\rho_{пр} = 1550$  кг/м<sup>3</sup>; длительность цикла фильтрования  $\sum \tau_{ф} = 15$  мин.

4. Рассчитать фактор разделения, производительность и давление фильтрации фильтрующей центрифуги, если высота барабана  $H_{бар} = 0,4$  м; угловая скорость вращения барабана  $\omega_{бар} = 165$  рад/с; внутренний диаметр барабана  $D_{бар} = 2R_{бар} = 0,8$  м; диаметр внутреннего кольца продукта  $D_{пр} = 0,44$  м; плотность продукта  $\rho_{пр} = 1420$  кг/м<sup>3</sup>; длительность цикла фильтрования  $\sum \tau_{ф} = 12$  мин.

### Контрольные вопросы:

1. Какие центрифуги используют в виноделии и для чего их применяют?
2. Опишите строение и принцип действия отстойной центрифуги.
3. Опишите строение и принцип действия фильтрующей центрифуги.
4. Методика расчета параметров работы отстойной (осадительной) центрифуги.
5. Методика расчета параметров работы фильтрующей центрифуги.

## ТЕМА 8. РАСЧЕТ БУТЫЛКОМОЕЧНОЙ МАШИНЫ

**Цель занятия:** усвоить теоретические основы процесса мойки бутылок, научиться самостоятельно рассчитывать производительность бутылкомоечной машины, определять оптимальный расход пара и воды при проведении технологического процесса мойки бутылок.

**Задание:**

1. Изучить принцип действия и основные параметры работы машин для мойки бутылок.
2. Рассчитать параметры работы бутылкомоечной машины.

*1. Принцип действия и основные параметры работы машин для мойки бутылок.*

Принцип действия машин для мойки бутылок основан на обработке их нагретыми растворами, содержащими специальные моющие средства, которые обеспечивают физическую и микробиологическую чистоту тары. Среди химических моющих средств наиболее распространены растворы едкого натра ( $\text{NaOH}$ ), кальцинированной соды ( $\text{Ca}_2\text{CO}_3$ ), тринатрийфосфата ( $\text{Na}_3\text{PO}_3$ ), «жидкого» стекла ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n \cdot \text{SiO}_2$ ) и др. Тринатрийфосфат добавляют для усиления смачивающего действия, а «жидкое» стекло – для лучшего растворения загрязнений. С повышением температуры, концентрации и продолжительность обработки эффективность щелочных растворов возрастает.

Наиболее распространенный технологический процесс мойки бутылок состоит из следующих операций: удаление легкосмываемых загрязнений, предварительное отмачивание загрязнений в воде или моющем растворе, отмачивание в горячем растворе, смывание этикеток, внутреннее шприцевание и ополаскивание бутылкомоеющим раствором, горячей, теплой и холодной водой. Отмачивание производят в один или несколько этапов, шприцевание – многократно.

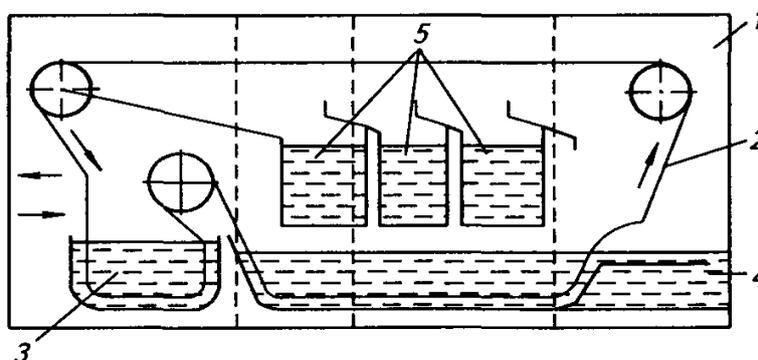
Основные параметры бутылкомоечных машин стандартизированы. Так, в бродильной промышленности применяют машины номинальной производительностью 3000, 6000, 12 000, 18 000 и 24 000 бутылок в час (табл. 1).

**Таблица 1** – Техническая характеристика некоторых бутылкомоечных машин

| Показатель                                 | АММ-6 | АММ-12 | ВМА-3 | ВМБ-4 | Б-6ВМГ-24 |
|--|-------|--------|-------|-------|-----------|
| Производительность, бутылок в час          | 6000  | 12000  | 3000  | 6000  | 24000     |
| Продолжительность кинематического цикла, с | 9,6   | 7,2    | 14,4  | 5     | 6         |
| Число бутылконосителей                     | 118   | 138    | 68    | 154   | 194       |
| Число гнезд в бутылконосителе              | 16    | 24     | 12    | 10    | 40        |

|   |       |       |     |      |      |
|---|-------|-------|-----|------|------|
| Шаг цепи, м                                   | 0,125 | 0,125 | 0,1 | 0,14 | 0,14 |
| Мощность установленных электродвигателей, кВт | 20,5  | 30    | 9,2 | 17,9 | 62,2 |

Суммарная продолжительность отмачивания и шприцевания бутылок должна составлять не менее 7,5 мин, при этом продолжительность шприцевания – не менее 1,67 мин. Концентрацию моющего раствора следует принимать в пределах 0,7...2,5 %, а температуру в наиболее горячей ванне  $75 \pm 5$  °С. Расход водопроводной воды на одну бутылку должен составлять не более 1 л, расход теплоты – не более 167 Дж, расход моющего средства в сухом виде – не более 1,3 г. Перспективным считается создание модульных (секционных) бутылкомоечных машин, позволяющих компоновать их в зависимости от конкретных условий производства (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема модульная бутылкомоечной машины: 1 – корпус; 2 – конвейер с бутылконосителями; 3 – первая нижняя ванна; 4 – вторая нижняя ванна; 5 – верхние ванны

## 2. Расчет бутылкомоечной машины.

Производительность бутылкомоечной машины рассчитывают по формулам, характеризующим пропускную способность машин и их отдельных рабочих органов. Полезное время мойки  $\tau_m$  (с) складывается из времени на отмачивание и шприцевание. Время отмачивания зависит от числа бутылконосителей, одновременно находящихся в жидкости. Поскольку шприцевание в машинах с периодическим движением конвейера производится в момент останова рабочих органов, время шприцевания зависит от части цикла, затрачиваемого на выстой, и от числа шприцеваний каждой бутылки.

Расход теплоты  $Q$  (кДж/кг), вносимой паром в бутылкомоечную машину для поддержания заданного температурного режима, определяют методом замкнутого контура, заключающимся в определении потоков теплоты, вводимых в машину и выводимых из нее.

|   |  |
|---|--|
| <p>Приход теплоты</p> <p>Теплота, вносимая со стеклянными бутылками,</p> $Q_1 = G_{\bar{o}} m_{\bar{o}} c_c t_{\bar{o},n}$ <p>Теплота, затрачиваемая на подогрев бутылок и носителей в первой ванне,</p> $Q_2 = G_{\bar{o}} [m_{\bar{o}} c_c + (m_n / m) c_n] (t_0 - t_{\bar{o},n})$ <p>Теплота, затрачиваемая на подогрев бутылок и носителей во второй ванне,</p> $Q_3 = G_{\bar{o}} [m_{\bar{o}} c_c + (m_n / m) c_n] (t_{us} - t_{om})$ <p>Теплота, поступающая с водопроводной водой,</p> $Q_4 = G_{\bar{v},x} c_v t_{\bar{v},x}$ <p>Теплота для подогрева циркулирующей смешанной воды</p> $Q_5 = G_{\bar{v},z} c_v (t_{\bar{v},z} - t_{cm})$ | <p>Расход теплоты</p> <p>Теплота, уходящая с вымытыми бутылками,</p> $Q_6 = G_{\bar{o}} m_{\bar{o}} c_c t_{\bar{o},k}$ <p>Теплота, уходящая с избытком воды через переливные трубы в канализацию,</p> $Q_7 = G_{\bar{v},x} c_v t_{cm}$ |
|---|--|

В приведенных формулах  $G_{\bar{o}}$  – производительность машины, бутылок в час;  $m_{\bar{o}}$  – масса одной бутылки, кг;  $c_c$  – удельная теплоемкость стекла, кДж/(кг·К);  $m_n$  – масса бутылконосителя, кг;  $c_n$  – удельная теплоемкость металла, кДж/(кг·К);  $m$  – число гнезд в бутылконосителе;  $t_{\bar{o},n}$  – начальная температура бутылок, °С;  $t_{\bar{o},k}$  – конечная температура бутылок, °С;  $t_{us}$  – температура шприцевания бутылок, °С;  $t_{om}$  – температура отмачивания бутылок в первой ванне, К;  $G_{\bar{v},x}$  – расход холодной воды, кг/ч;  $c_v$  – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·К);  $t_{\bar{v},x}$  – температура холодной воды, °С;  $t_{\bar{v},z}$  – температура горячей воды, °С;  $t_{cm}$  – температура смешанной воды, °С.

Тепловой баланс машины выражается следующим образом:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = Q_6 + Q_7 + Q_n \quad (1)$$

где  $Q_n$  – потери теплоты в окружающую среду, кДж/ч.

Количество теплоты  $Q$  (кДж/ч), необходимое для работы бутылкомоечной машины,

$$Q = Q_2 + Q_3 + Q_5 = Q_6 - Q_1 + Q_7 - Q_4 + Q_n \quad (2)$$

Тогда в окончательном виде

$$Q = G_{\bar{o}} m_{\bar{o}} c_c (t_{\bar{o},k} - t_{\bar{o},n}) + G_{\bar{v},x} c_v (t_{cm} - t_{\bar{v},x}) + Q_n \quad (3)$$

Пример 1. Рассчитать производительность и оптимальный расход пара бутылкомоечной машины с периодическим движением конвейера с бутылконосителями, если продолжительность кинематического цикла мойки  $\tau_m = 6$  с, число гнезд в бутылконосителе  $m = 40$ , общее число бутылконосителей  $n = 194$ . Масса бутылки вместимостью  $V_{\bar{o}} = 0,5$  л составляет  $m_{\bar{o}} = 0,380$  кг, расход холодной воды на одну бутылку  $G_{\bar{v},l} = 1$  кг. Темпера-

тура холодной воды  $t_{\text{в.н}} = 3 \text{ }^\circ\text{C}$ , отработанной воды  $t_{\text{в.к}} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ , грязных бутылок  $t_{\text{б.н}} = 7 \text{ }^\circ\text{C}$ , чистых бутылок  $t_{\text{б.к}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ , конденсата пара  $t_{\text{к}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Удельная теплоемкость стекла  $c_{\text{ст}} = 0,84 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ , удельная теплоемкость воды  $c_{\text{в}} = 4,19 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ . Энтальпия греющего пара  $i_{\text{н}} = 2716 \text{ кДж/кг}$ , энтальпия конденсата  $i_{\text{к}} = 419 \text{ кДж/кг}$ . Потери теплоты в окружающую среду  $Q_{\text{н}} = 10 \text{ \%}$ . Время работы машины в течение суток  $\tau_{\text{р}} = 16 \text{ ч}$  (две смены), в третью смену моющие жидкости охлаждаются до температуры воздуха в помещении  $t_{\text{возд}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Объем щелочного раствора в первой ванне  $V_1 = 2,5 \text{ м}^3$  при  $t_1 = 65 \text{ }^\circ\text{C}$ , во второй  $V_2 = 1,7 \text{ м}^3$  при  $t_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ , в первой верхней  $V_3 = 0,55 \text{ м}^3$  при  $t_3 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ . Объем воды во второй верхней ванне  $V_4 = 1,5 \text{ м}^3$  при  $t_{\text{в.к}} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ . Плотность воды  $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

Решение. Производительность машины

$$G_{\text{б}} = \frac{3600m}{\tau_{\text{м}}} = \frac{3600 \cdot 40}{6} = 24000 \text{ бут / ч}$$

Время технологического цикла

$$T = \frac{3600nm}{G_{\text{б}}} = \frac{3600 \cdot 194 \cdot 40}{24000} = 1164 \text{ с}$$

Теоретическое число бутылок, одновременно находящихся в машине,

$$K_{\text{б}} = \frac{G_{\text{б}}T}{3600} = \frac{24000 \cdot 1164}{3600} = 7760$$

Расход пара на мойку

$$D_{\text{м}} = \frac{[G_{\text{б}}m_{\text{б}}c_{\text{ст}}(t_{\text{б.к}} - t_{\text{б.н}}) + G_{\text{в1}}G_{\text{б}}c_{\text{в}}(t_{\text{в.к}} - t_{\text{в.н}}) + (100 - Q_{\text{н}})/100]}{(i_{\text{н}} - i_{\text{к}})}$$

$$D_{\text{м}} = \frac{[24000 \cdot 0,380 \cdot 0,84(10 - 7) + 1 \cdot 24000 \cdot 4,19(35 - 6) + (100 - 10)/100]}{2716 - 419} = 1226,21 \text{ кг / ч}$$

Расход теплоты на нагревание щелочных растворов в первой ванне

$$Q_1 = V_1 \rho_{\text{в}} c_{\text{в}} (t_1 - t_{\text{возд}}) = 2,5 \cdot 1000 \cdot 4,19(65 - 20) = 471375 \text{ кДж}$$

Расход теплоты на нагревание растворов во второй и первой верхних ваннах

$$Q_2 = (V_1 + V_2) \rho_{\text{в}} c_{\text{в}} (t_3 - t_{\text{в.в}}) = (1,7 + 0,55)1000 \cdot 4,19(80 - 20) = 138271,7 \text{ кДж}$$

Расход теплоты на нагревание воды во второй верхней ванне

$$Q_3 = V_4 \rho_{\text{в}} c_{\text{в}} (t_{\text{в.к}} - t_{\text{в}}) = 1,5 \cdot 1000 \cdot 4,19(35 - 20) = 94275 \text{ кДж}$$

Расход пара на нагревание щелочных растворов

$$D_{\text{р}} = \frac{Q_1 + Q_2}{i_{\text{н}} - c_{\text{в}}t_{\text{в.к}}} = \frac{471375 + 138271,7}{2716 - 4,19 \cdot 35} = 237,3 \text{ кг}$$

Расход пара на нагревание воды

$$D_{\text{в}} = \frac{Q_3}{i_n - c_{\text{в}} t_{\text{в.к}}} = \frac{94275}{2716 - 4,19 \cdot 35} = 35,5 \text{ кг}$$

Общий суточный расход пара

$$D_{\text{общ}} = D_{\text{м}} \tau_p + D_p + D_{\text{в}} = 1226,21 \cdot 16 + 237,3 + 35,5 = 19892,15 \text{ кг/сут}$$

Расход пара на 1000 бутылок

$$D_1 = D_{\text{общ}} / (G_{\text{б}} / 1000) \tau_p = 19892,15 / (24000 / 1000) 16 = 51,8 \text{ кг}$$

Сравниваем полученный удельный расход пара с допустимым и, если  $D_1 > D_1'$ , уменьшаем объем щелочного раствора в первой ванне на величину  $\Delta V_1$  и расчет повторяем.

### **Задания для самостоятельной работы:**

**1.** Рассчитать производительность и оптимальный расход пара бутылкомоечной машины с периодическим движением конвейера с бутылконосителями, если продолжительность кинематического цикла мойки  $\tau_{\text{м}} = 7,2$  с, число гнезд в бутылконосителе  $m = 24$ , общее число бутылконосителей  $n = 138$ . Масса бутылки вместимостью  $V_{\text{б}} = 0,5$  л составляет  $m_{\text{б}} = 0,380$  кг, расход холодной воды на одну бутылку  $G_{\text{в.1}} = 1$  кг. Температура холодной воды  $t_{\text{в.н}} = 2,5$  °С, отработанной воды  $t_{\text{в.к}} = 38$  °С, грязных бутылок  $t_{\text{б.н}} = 8$  °С, чистых бутылок  $t_{\text{б.к}} = 11$  °С, конденсата пара  $t_{\text{к}} = 100$  °С. Удельная теплоемкость стекла  $c_{\text{ст}} = 0,84$  кДж/(кг·К), удельная теплоемкость воды  $c_{\text{в}} = 4,19$  кДж/(кг·К). Энтальпия греющего пара  $i_n = 2716$  кДж/кг, энтальпия конденсата  $i_{\text{к}} = 419$  кДж/кг. Потери теплоты в окружающую среду  $Q_n = 12$  %. Время работы машины в течение суток  $\tau_p = 16$  ч (две смены), в третью смену моющие жидкости охлаждаются до температуры воздуха в помещении  $t_{\text{возд}} = 20$  °С. Объем щелочного раствора в первой ванне  $V_1 = 2,5$  м<sup>3</sup> при  $t_1 = 65$  °С, во второй  $V_2 = 1,7$  м<sup>3</sup> при  $t_2 = 80$  °С, в первой верхней  $V_3 = 0,55$  м<sup>3</sup> при  $t_3 = 80$  °С. Объем воды во второй верхней ванне  $V_4 = 1,5$  м<sup>3</sup> при  $t_{\text{в.х}} = 35$  °С. Плотность воды  $\rho_{\text{в}} = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

**2.** Рассчитать производительность и оптимальный расход пара бутылкомоечной машины с периодическим движением конвейера с бутылконосителями, если продолжительность кинематического цикла мойки  $\tau_{\text{м}} = 9,6$  с, число гнезд в бутылконосителе  $m = 16$ , общее число бутылконосителей  $n = 118$ . Масса бутылки вместимостью  $V_{\text{б}} = 0,5$  л составляет  $m_{\text{б}} = 0,380$  кг, расход холодной воды на одну бутылку  $G_{\text{в.1}} = 0,8$  кг. Температура холодной воды  $t_{\text{в.н}} = 2$  °С, отработанной воды  $t_{\text{в.к}} = 33$  °С, грязных бутылок  $t_{\text{б.н}} = 7$  °С, чистых бутылок  $t_{\text{б.к}} = 9$  °С, конденсата пара  $t_{\text{к}} = 99$  °С. Удельная теплоемкость стекла  $c_{\text{ст}} = 0,84$  кДж/(кг·К), удельная теплоемкость воды  $c_{\text{в}} = 4,19$  кДж/(кг·К). Энтальпия греющего пара

$i_n = 2716$  кДж/кг, энтальпия конденсата  $i_k = 419$  кДж/кг. Потери теплоты в окружающую среду  $Q_n = 12$  %. Время работы машины в течение суток  $\tau_p = 16$  ч (две смены), в третью смену моющие жидкости охлаждаются до температуры воздуха в помещении  $t_{возд} = 22$  °С. Объем щелочного раствора в первой ванне  $V_1 = 2,7$  м<sup>3</sup> при  $t_1 = 65$  °С, во второй  $V_2 = 1,9$  м<sup>3</sup> при  $t_2 = 80$  °С, в первой верхней  $V_3 = 0,57$  м<sup>3</sup> при  $t_3 = 80$  °С. Объем воды во второй верхней ванне  $V_4 = 1,7$  м<sup>3</sup> при  $t_{в.х} = 35$  °С. Плотность воды  $\rho_в = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

### Контрольные вопросы:

1. Что называется мойкой бутылок?
2. С какой целью применяют отмочку и шприцевание бутылок?
3. Какие факторы обуславливают качество мойки бутылок?
4. Какие моющие средства применяют для мойки бутылок?
5. Назовите основные требования к процессу мойки бутылок.
6. Приведите классификацию бутылкомоечных машин.
7. Опишите принцип действия и основные параметры работы машин для мойки бутылок.
8. Методика расчета параметров работы бутылкомоечной машины.

## ТЕМА 9. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ РАЗЛИВОЧНОЙ ДОЗИРОВОЧНОЙ МАШИНЫ

**Цель занятия:** усвоить теоретические основы процесса фасования пива, безалкогольных напитков и других пищевых жидкостей, научиться самостоятельно рассчитывать параметры работы разливочной дозирующей машины.

**Задание:**

1. Изучить принцип действия и основные параметры работы машин для фасования пива, безалкогольных напитков и других пищевых жидкостей.
2. Рассчитать параметры работы разливочной дозирующей машины.

*1. Принцип действия и основные параметры работы машин для фасования пива, безалкогольных напитков и других пищевых жидкостей.*

Для фасования пива, безалкогольных напитков и других пищевых жидкостей применяют машины, принцип действия которых основан на различных способах наполнения бутылок: барометрическом, сверхбарометрическом и вакуумном. По барометрическому способу истечение жидкости происходит только в поле действия гравитационных сил (самотеком) при нормальном давлении. При этих условиях фасуют «тихие» жидкости, не содержащие легколетучих компонентов.

Сверхбарометрическое фасование также характеризуется истечением жидкости в поле действия гравитационных сил, но при избыточном давлении в фасовочном устройстве (или в расходном баке) и наполняемой таре. Таким способом фасуют безалкогольные напитки, насыщенные диоксидом углерода.

Фасование под вакуумом применяют в двух вариантах. При создании разрежения только в таре истечение продукта происходит под действием разности давлений в расходном баке и таре. При создании разрежения и в таре, и в расходном баке истечение продукта происходит в поле действия гравитационных сил (самотеком).

Независимо от способа фасования бутылки можно наполнять по объему или по уровню в фасовочно-укупорочных машинах (табл. 1).

**Таблица 1** – Техническая характеристика фасовочно-укупорочных машин

| Показатель                        | P2-6 | T1-ВРЦ-12 | T1-ВДР-12В | Б2-ВРР/1 |
|-----------------------------------|------|-----------|------------|----------|
| Производительность, бутылок в час | 660  | 12000     | 12000      | 24000    |
| Число устройств:                  |      |           |            |          |
| фасовочных                        | 36   | 60        | 60         | 90       |
| укупорочных                       | -    | 12        | 12         | 18       |

|   |             |             |             |             |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Давление (абсолютное), МПа:               |             |             |             |             |
| в резервуаре                              | 0,15...0,22 | 0,19...0,22 | 0,25...0,45 | 0,30...0,35 |
| сжатого воздуха<br>в цилиндрах            | 0,30...0,35 | 0,40...0,45 | 0,6         | 0,20...0,22 |
| подъемных столиков                        |             |             |             |             |
| Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /ч | 25          | 20          | 20          | 30          |
| Мощность привода, кВт                     | 2,2         | 4,6         | 5,3         | 9,42        |

Бутылки с пивом, безалкогольными напитками, минеральной водой и другими пищевыми жидкостями укупоривают жестяными колпачками с упругой пробкой или синтетической прокладкой. Фасовочно-укупорочный агрегат Т1-ВРЦ-12 для розлива пива представляет собой моноблок, состоящий из синхронно работающих фасовочной и укупорочной машин с общим приводом. На расходном резервуаре монтируют 60 фасовочных устройств кранового типа с длинной трубкой для жидкости. Наполненные бутылки снимаются с фасовочной карусели промежуточной звездочкой и переносятся на укупорочную карусель. При вращении последней укупорочные патроны, обкатываясь по неподвижному копиру, опускаются и обжимают кронен-пробки на горлышке бутылки.

Для фасования безалкогольных напитков, минеральной воды и пива в бутылки, а также укупорки их кронен-пробками предназначен агрегат Б2-ВРР/1. Напиток и диоксид углерода подаются в центр резервуара по трубопроводам, идущим от распределителя. Специальные клапаны регулируют подачу газа в зависимости от уровня и давления напитка.

После подъема бутылки в крайнее верхнее положение достигается ее герметизация. В фасовочном устройстве открывается вакуумный клапан, и в бутылке создается разрежение, в результате чего из нее удаляется воздух. Затем открывается клапан газа, и он начинает поступать в бутылку. В дальнейшем под действием пружины открывается жидкостный клапан и через кольцевой зазор между горлышком бутылки и резиновым конусом напиток сливается в бутылку. Во время наполнения бутылки диоксид углерода вытесняется по газовой трубе в наджидкостное пространство резервуара.

## *2. Расчет параметров работы разливочной дозировочной машины.*

Процессы, протекающие в разливочных дозировочных машинах, делятся на две группы: имеющие по технологическим соображениям строго определенную продолжительность и зависящие от конструкции машины. К первой группе относятся подъем, спуск бутылок (рис. 1, секторы II и VIII) и заполнение их газом и жидкостью (секторы IV и VI). Продолжительность этих процессов: подъем бутылки – до 2,5 с; заполнение газом – 1; заполнение пивом – 5...10; спуск бутылки – до 2,5 с.



Рис. 1. Циклограмма работы разливочной дозирочной машины

Установка и съем бутылок со столиков (сектор I), а также повороты кранов (секторы III, V и VII) зависят от конструкции машины. Центральный угол каждого из этих секторов определяется конструктивными элементами машины. Турникеты в зависимости от конструкции перекрывают сектор, в котором находится от 3 до 7 подъемных столиков.

Производительность разливочной машины карусельного типа (бутылок в час)

$$G_{\sigma} = 3600q_n n \quad (1)$$

где  $q_n$  – число фасовочных устройств;  $n$  – частота вращения ротора,  $c^{-1}$ .

Время заполнения бутылки зависит от объема дозы и объемного расхода жидкости. Теоретический расход жидкости, вытекающей через сливное отверстие наполнителя (м/с),

$$G_{жс} = \varphi f \sqrt{2gH} \quad (2)$$

где  $\varphi$  – теоретический коэффициент расхода сливного канала;  $\varphi = 0,4 \dots 0,7$ ;  $f$  – площадь сечения отверстия для выхода жидкости,  $m^2$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $m/c^2$ ;  $H$  – напор жидкости, м.

При шатровом способе наполнения бутылок, который характеризуется наибольшим расходом жидкости при наименьшей ее турбулентности и скорости движения,

$$f = \frac{\pi(d_{н.тр}^2 - d_{в.тр}^2)}{4} \quad (3)$$

где  $d_{н.тр}$  и  $d_{в.тр}$  – соответственно наружный и внутренний диаметры сливной трубки, м.

Продолжительность одного оборота карусели (с)

$$\tau_{об} = \frac{1}{n} = \frac{q_n}{G_б} \quad (4)$$

Пример 1. Рассчитать параметры работы разливочной дозирочной машины при фасовании в бутылки вместимостью  $V_б = 0,5$  л негазированных напитков производительностью  $G_б = 6000$  бутылок в час. Среднее давление жидкости в дозирующем баке и сливной трубке  $\Delta p = 1619$  Па. Шаг установки подъемных дисков по окружности  $t = 0,11$  м. Внутренний диаметр горлышка стандартной бутылки  $d_б = 0,016$  м. Коэффициент расхода сливного канала  $\varphi = 0,6$ . Теоретический напор уровня жидкости  $H = 0,16$  мм вод. ст., внутренний диаметр сливной трубки  $d_{вн.тр} = 0,012$  м, плотность жидкости  $\rho_{ж} = 1030$  кг/м<sup>3</sup>. Общая продолжительность операций наполнения бутылки  $\tau_{общ} = 7,8$  с, включая подъем бутылки к наполнителю и ее спуск; турникетная группа состоит из  $q_c = 3$  подъемных столиков.

Решение. Скорость истечения жидкости из сливной трубки для двух случаев:

$$v' = \varphi \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_{ж}}} = 0,6 \sqrt{\frac{2 \cdot 1619}{1030}} = 1,063 \text{ м/с}$$

$$v'' = \varphi \sqrt{2gH} = 0,6 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,16} = 1,063 \text{ м/с}$$

Значения скоростей истечения должны быть равны между собой. Если равенства не получается, то регулируем высоту напора жидкости  $H$ . Площадь сечения отверстия для выхода жидкости

$$f = \frac{\pi d_{вн.тр}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,012^2}{4} = 0,00011 \text{ м}^2$$

Расход жидкости, вытекающей через сливное отверстие наполнителя,

$$V_{ж}' \varphi v' = 0,6 \cdot 0,0001 \cdot 1,063 = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 / \text{с}$$

$$V_{ж}'' \varphi v'' = 0,6 \cdot 0,0001 \cdot 1,063 = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 / \text{с}$$

Полученные значения расходов жидкостей должны быть равны между собой, если они различаются, меняем величину давления  $\Delta p$ . Продолжительность наполнения одной бутылки

$$\tau_n = \frac{V_б \cdot 10^{-3}}{V_{ж}} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{1,2 \cdot 10^{-4}} = 4,1 \text{ с}$$

Число наполнителей (фасовочных устройств)

$$q_n = \frac{G_б \tau_{общ}}{3600} = \frac{6000 \cdot 7,8}{3600} = 13$$

Общее число подъемных столиков

$$q_{общ} = q_n + q_c = 13 + 3 = 16$$

КПД разливочных клапанов (или кранов)

$$\eta = \frac{q_n}{q_{общ}} = \frac{13}{16} = 0,81$$

Продолжительность одного оборота карусели

$$\tau_{об} = \frac{q_{общ} \cdot 3600}{G_{\delta}} = \frac{16 \cdot 3600}{6000} = 9,6с$$

Частота вращения ротора карусели

$$n = \frac{1}{\tau_{об}} = \frac{1}{9,6} = 0,1с^{-1}$$

Диаметр окружности по центрам подъемных столиков при шаге подъемных столиков  $t = 0,11$  м

$$D_0 = \frac{tq_{общ}}{\pi} = \frac{0,11 \cdot 16}{3,14} = 0,56м$$

Модуль карусели

$$d_{\kappa} = \frac{D_0}{q_{общ}} = \frac{0,56}{16} = 0,035м$$

### ***Задания для самостоятельной работы:***

1. Рассчитать параметры работы разливочной дозировочной машины при фасовании в бутылки вместимостью  $V_{\delta} = 0,5$  л негазированных напитков производительностью  $G_{\delta} = 12000$  бутылок в час. Среднее давление жидкости в дозирующем баке и сливной трубке  $\Delta p = 1930$  Па. Шаг установки подъемных дисков по окружности  $t = 0,11$  м. Внутренний диаметр горлышка стандартной бутылки  $d_{\delta} = 0,016$  м. Коэффициент расхода сливного канала  $\varphi = 0,4$ . Теоретический напор уровня жидкости  $H = 0,16$  мм вод. ст., внутренний диаметр сливной трубки  $d_{вн.тр} = 0,012$  м, плотность жидкости  $\rho_{ж} = 1020$  кг/м<sup>3</sup>. Общая продолжительность операций наполнения бутылки  $\tau_{общ} = 10,3$  с, включая подъем бутылки к наполнителю и ее спуск; турникетная группа состоит из  $q_c = 4$  подъемных столиков.

2. Рассчитать параметры работы разливочной дозировочной машины при фасовании в бутылки вместимостью  $V_{\delta} = 0,5$  л негазированных напитков производительностью  $G_{\delta} = 24000$  бутылок в час. Среднее давление жидкости в дозирующем баке и сливной трубке  $\Delta p = 3224$  Па. Шаг установки подъемных дисков по окружности  $t = 0,11$  м. Внутренний диаметр горлышка стандартной бутылки  $d_{\delta} = 0,016$  м. Коэффициент расхода слив-

ного канала  $\varphi = 0,5$ . Теоретический напор уровня жидкости  $H = 0,16$  м вод. ст., внутренний диаметр сливной трубки  $d_{вн.тр} = 0,012$  м, плотность жидкости  $\rho_{ж} = 1030$  кг/м<sup>3</sup>. Общая продолжительность операций наполнения бутылки  $\tau_{общ} = 8,1$  с, включая подъем бутылки к наполнителю и ее спуск; турникетная группа состоит из  $q_c = 6$  подъемных столиков.

### **Контрольные вопросы:**

- 1.** Назовите способы наполнения бутылок в машинах для фасования пива, безалкогольных напитков и других пищевых жидкостей.
- 2.** Опишите принцип действия и основные параметры работы машин для фасования пива, безалкогольных напитков и других пищевых жидкостей.
- 3.** На какие группы делятся процессы, протекающие в разливочных дозировочных машинах?
- 4.** Опишите циклограмму работы разливочной дозировочной машины.
- 5.** Методика расчета параметров работы разливочной дозировочной машины.

## ТЕМА 10. РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭТИКЕТИРОВОЧНОЙ МАШИНЫ

**Цель занятия:** усвоить теоретические основы оформления готовой продукции, научиться самостоятельно проводить расчет производительности этикетировочной машины.

**Задание:**

1. Изучить принцип действия и основные параметры работы этикетировочной машины.
2. Рассчитать производительность этикетировочной машины.

*1. Принцип действия и основные параметры работы этикетировочной машины.*

Оформление готовой продукции включает отделку горлышек и нанесение этикеток на поверхность бутылок с целью придания упакованной продукции привлекательного внешнего вида и защиты ее от подделки.

Конструкция и траектория движения рабочих органов этикетировочной машины зависят от формы, размера этикеток, а также от места наклейки их на бутылки.

В общем случае процесс нанесения штучных бумажных этикеток состоит из следующих операций: выведение этикеток из магазина, передача этикеток на этикетопереносчик, нанесение штемпеля и клея на этикетку, передача этикетки на бутылку, разглаживание этикетки на бутылке.

Этикетировочные машины ВЭВ и А1-ВЭС (табл. 1) имеют по два магазина этикеток, вакуум-барабан и позволяют регулировать производительность от 6000 до 12000 бутылок в час.

**Таблица 1** – Техническая характеристика этикетировочных машин

| Показатель                        | ВЭМ         | ВЭВ          | А1-ВЭС        |
|-----------------------------------|-------------|--------------|---------------|
| Производительность, бутылок в час | 3000...6000 | 6000...12000 | 12000...15000 |
| Число магазинов для этикеток      | 1           | 2            | 2             |
| Число сегментов вакуум-барабана   | 6           | 6            | 6             |
| Мощность электродвигателя, кВт    | 1,5         | 1,7          | 1,1           |

*2. Расчет производительности этикетировочной машины.*

Производительность этикетировочной машины линейного типа с вакуумным барабаном-этикетопереносчиком (бутылок в час)

$$G_{\sigma} = 3600mn_{\sigma ap}K \quad (1)$$

где  $m$  – число сегментов этикетопереносчиков;  $n$  – частота вращения вакуум-барабана,  $s^{-1}$ ;  $K$  – число магазинов для этикеток.

Удерживание этикетки на сегменте барабана вакуумным присосом возможно при определенных условиях (рис. 1). Сила, с которой присос удерживает этикетку на сегменте барабана ( $H$ ),

$$N_{np} = n_{np} \left[ (\pi d_0^2) / 4 \right] (p_{атм} - p_{ост}) \quad (2)$$

где  $n_{np}$  – число рабочих отверстий присоса;  $d_0$  – диаметр отверстий, м;  $p_{атм}$  и  $p_{ост}$  – соответственно атмосферное и остаточное давление внутри барабана, Па.

При наклонном положении этикетки сила ее тяжести  $G$  ( $H$ ) раскладывается на составляющую  $N$  ( $H$ ), направленную перпендикулярно плоскости сегмента, и касательную составляющую  $T$  ( $H$ ):

$$N = G \cos \alpha \text{ и } T = G \sin \alpha \quad (3)$$

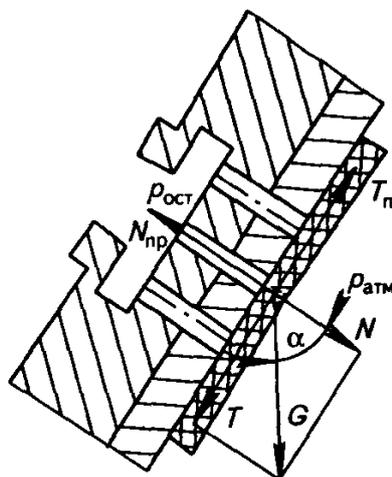


Рис. 1. Схема определения условий удерживания этикеткам на сегменте барабана

В большинстве случаев этикетка занимает вертикальное положение, т. е. сила ее тяжести направлена по касательной к плоскости присоса, т. е.  $\alpha = 90^\circ$ ,  $N = 0$  и  $T = 0$ . Тогда условия удерживания этикетки можно выразить так:

$$\left. \begin{array}{l} N_n > N, \text{ или } N_n = \eta_1 N; \\ T_n > T, \text{ или } T_n = \eta_2 N; \end{array} \right\}$$

Пример 1. Рассчитать производительность этикетировочной машины непрерывного действия с вакуумным барабаном-этикетопереносчиком, позволяющей использовать как один магазин с этикетками, так и сразу оба ( $K_1 = 1$  и  $K_2 = 2$ ), если число сегментов-этикетопереносчиков  $m = 6$ , частота вращения вакуум-барабанов  $n_{бар} = 0,2778 \text{ с}^{-1}$ , шаг перемещающего бутылки шнека  $t = 0,07$  м, а коэффициент, учитывающий проскальзывание бутылок на конвейере,  $k = 1,2$ .

Решение. Принимаем, что в работе находится один магазин с этикетками, т. е.  $K = K_1$ .

Производительность этикетировочной машины для этого случая

$$G_{\delta}^{\prime} = 3600 m n_{\delta ap} K_1 = 3600 \cdot 6 \cdot 0,2778 \cdot 1 = 6000 \text{ бут / ч}$$

Частота вращения перемещающего бутылки шнека

$$n_{ш}^{\prime} = \frac{G_{\delta}^{\prime}}{3600} = \frac{6000}{3600} = 1,67 \text{ с}^{-1}$$

Скорость перемещения бутылок

$$v_{\delta}^{\prime} = t n_{ш}^{\prime} = 0,07 \cdot 1,67 = 0,12 \text{ м / с}$$

Скорость движения пластинчатого конвейера

$$v_{к}^{\prime} = k v_{\delta}^{\prime} = 1,2 \cdot 0,12 = 0,14 \text{ м / с}$$

Если работают сразу оба магазина с этикетками, т. е.  $K = K_2$ , тогда:

$$G_{\delta}^{\prime\prime} = 3600 m n_{\delta ap} K_2 = 3600 \cdot 6 \cdot 0,2778 \cdot 2 = 12000 \text{ бут / ч}$$

$$n_{ш}^{\prime\prime} = \frac{G_{\delta}^{\prime\prime}}{3600} = 3,33 \text{ с}^{-1}$$

$$v_{\delta}^{\prime\prime} = t n_{ш}^{\prime\prime} = 0,07 \cdot 3,33 = 0,23 \text{ м / с}$$

$$v_{к}^{\prime\prime} = k v_{\delta}^{\prime\prime} = 1,2 \cdot 0,23 = 0,28 \text{ м / с}$$

### Контрольные вопросы:

1. Приведите классификацию оборудования для оформления готовой продукции.
2. Для каких целей проводят товарное оформление готовой продукции?
3. Назовите виды этикеток, наносимых на бутылки.
4. Приведите классификацию этикетировочных машин.
5. Опишите принцип действия и основные параметры работы этикетировочной машины.
6. Методика расчета производительности этикетировочной машины.

## ТЕМА 11. МАШИННО-АППАРАТУРНАЯ СХЕМА ЛИНИЙ ФАСОВАНИЯ ПИВА, ЛИКЕРОВОДОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ, БЕЗАЛКОГОЛЬНЫХ НАПИТКОВ И ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ДРОЖЖЕЙ

**Цель занятия:** усвоить теоретические основы фасования жидких пищевых продуктов.

**Задание:**

1. Изучить машинно-аппаратурную схему линий фасования пива, ликероводочных изделий, безалкогольных напитков и хлебопекарных дрожжей.

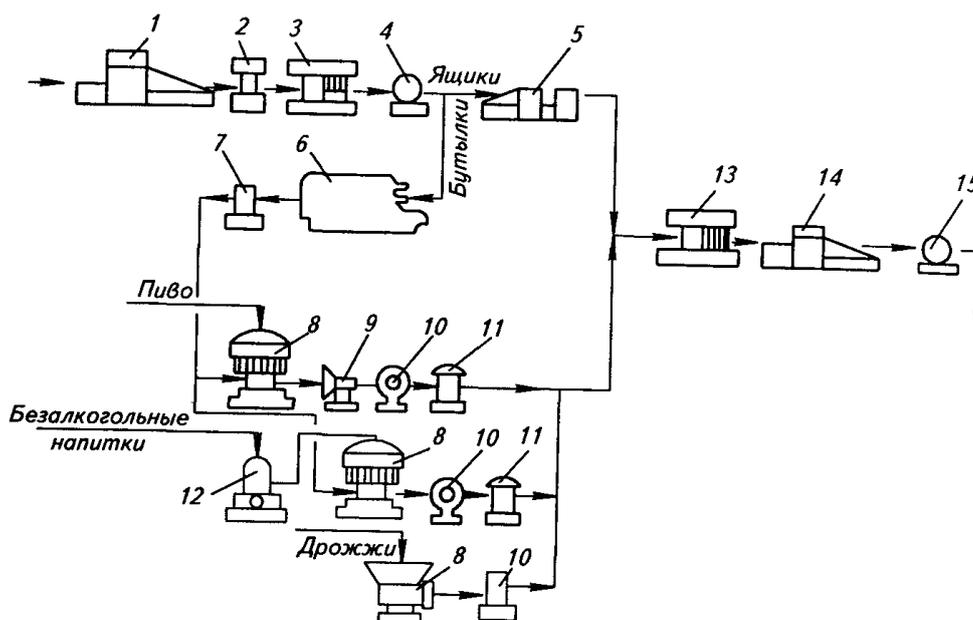
2. Начертить машинно-аппаратурную схему линий фасования пива, ликероводочных изделий, безалкогольных напитков и хлебопекарных дрожжей.

*1. Машинно-аппаратурная схема линий фасования пива, ликероводочных изделий, безалкогольных напитков и хлебопекарных дрожжей.*

Агрегаты для фасования жидких пищевых продуктов, укупоривания, придания бутылкам товарного вида и укладки их в ящики относятся к основному оборудованию современных линий упаковывания пива, безалкогольных напитков и хлебопекарных дрожжей. Общие технологические и конструктивные элементы машин этих линий позволяют унифицировать расчеты соответствующего оборудования, выполняющего одни и те же функции.

Состав современных поточных линий фасования готовой продукции определяется перечнем технологических операций, выполняемых на этих линиях. Машинно-аппаратурная схема линий фасования пива, ликероводочных изделий, безалкогольных напитков и хлебопекарных дрожжей представлена на рис. 1.

В технологическую линию фасования входят автомат для расформирования пакетов ящиков в стопки 1, автомат для разборки стопок ящиков 2, автомат для выемки бутылок из ящиков 3, устройство для междуэтажной транспортировки бутылок 4, бутылкомоечная машина 6 и инспекционный автомат вымытых бутылок 7. Готовый продукт (пиво, безалкогольный напиток, хлебопекарные дрожжи) направляется в фасовочно-упаковочный автомат 8, а производство безалкогольных напитков начинается с синхронно-смесительного автомата 12, в котором вода смешивается с сиропом и насыщается диоксидом углерода. В линии фасования пива дополнительно установлен пастеризатор 9, а в линии фасования хлебопекарных дрожжей – автомат 8, который подает, формует дрожжи, режет их на бруски определенной массы, упаковывает в бумагу и транспортирует пачки.



**Рис. 1.** Машинно-аппаратурная схема линий фасования пива, безалкогольных напитков и хлебопекарных дрожжей

Контроль наполненных жидким продуктом бутылок и сформированных пачек дрожжей осуществляется в инспекционном автомате 10, а наклеивание этикеток на бутылки – в этикетировочном автомате 11.

Пустые ящики проходят санитарную обработку в устройстве 5, из которого они направляются в автомат 13 для укладывания в них бутылок с продукцией. Далее в линии установлены автомат для формирования пакетов ящиков 14 и устройство для междуэтажной транспортировки пакетов ящиков 15. В конкретных условиях приведенная машинно-аппаратурная схема может быть упрощена или изменена.

### Контрольные вопросы:

1. Приведите классификацию оборудования линий фасования безалкогольных напитков и хлебопекарных дрожжей.
2. Дайте характеристику и опишите машинно-аппаратурную схему линии фасования хлебопекарных дрожжей.

## ТЕМА 12. МАШИННО-АППАРАТУРНАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА ПИВА

**Цель занятия:** усвоить теоретические основы технологии пива.

**Задание:**

1. Изучить машинно-аппаратурную схему производства пива.
2. Начертить машинно-аппаратурную схему производства пива.

### *1. Машинно-аппаратурная схема производства пива*

Технология пива состоит из следующих процессов: дробление солода и несоложенных материалов; приготовление сусла и чистой культуры дрожжей; главное брожение и дображивание пива; фильтрование и осветление пива; фасование пива и приготовление моющих растворов. Для выполнения указанных процессов применяют самое разнообразное технологическое оборудование.

Отлежавшийся солод из склада (рис. 1) подают в воздушно-ситовой сепаратор 1, а затем шнеком 2 в сборник очищенного солода 3. Ячмень шнеком 2 также подают в воздушно-ситовой сепаратор 1, а затем норией в сборник ячменя 15. Солод и ячмень пропускают через магнитную колонку 4, взвешивают на автоматических весах 5 и измельчают: солод на установке для мокрого дробления 6, а ячмень – на мельничном станке 16. Вода на технологические нужды поступает из сборников 10 и 11. Затираание проводят в заторно-варочном аппарате 7, в который дробленый солод поступает самотеком, а измельченный ячмень из сборника 17 – с помощью шнека 2. Сюда же поступает сахарный раствор, приготовленный в реакторе 9 и профильтрованный через ловушку 8. Затор фильтруют в фильтрационном аппарате 14. Прозрачное сусло и промывные воды насосом 13 перекачивают в суслотварочный аппарат 18, в котором сусло упаривается до заданной начальной концентрации. Хмель из склада подают в расходный сборник 12, откуда заданные порции хмеля через воронку поступают в суслотварочный аппарат 18. Пивную дробину насосом перекачивают в расходный сборник для реализации.

Горячее сусло из суслотварочного аппарата 18 самотеком направляется в хмелеотборный аппарат, откуда насосом перекачивается в гидроциклонный аппарат 28 для осветления. Насос 20 перекачивает осветленное сусло в пластинчатый теплообменник 29, где оно охлаждается до 6 °С, а затем поступает в аппарат главного брожения 34.

Для приготовления чистой культуры дрожжей предусмотрена установка, состоящая из стерилизаторов сусла 25, 27 и цилиндра для разбраживания дрожжей 26. Сброженная чистая культура дрожжей сжатым воздухом передавливается в ток сусла, поступающего на брожение. Избыточные дрожжи из аппаратов главного брожения 34 с помощью вакуума отбираются в вакуум-монжу 31. Семенные дрожжи воздухом передавливаются на вибросито 30 для очистки. Очищенные дрожжи самотеком поступают в

монжю 31 на хранение. С помощью вакуум-насоса 32 они направляются в производство. Воду для заливки дрожжей охлаждают в баке 24. Избыточные дрожжи, пройдя монжю 31, сжатым воздухом направляются в сборник 33, из которого насосом 20 перекачиваются на реализацию.

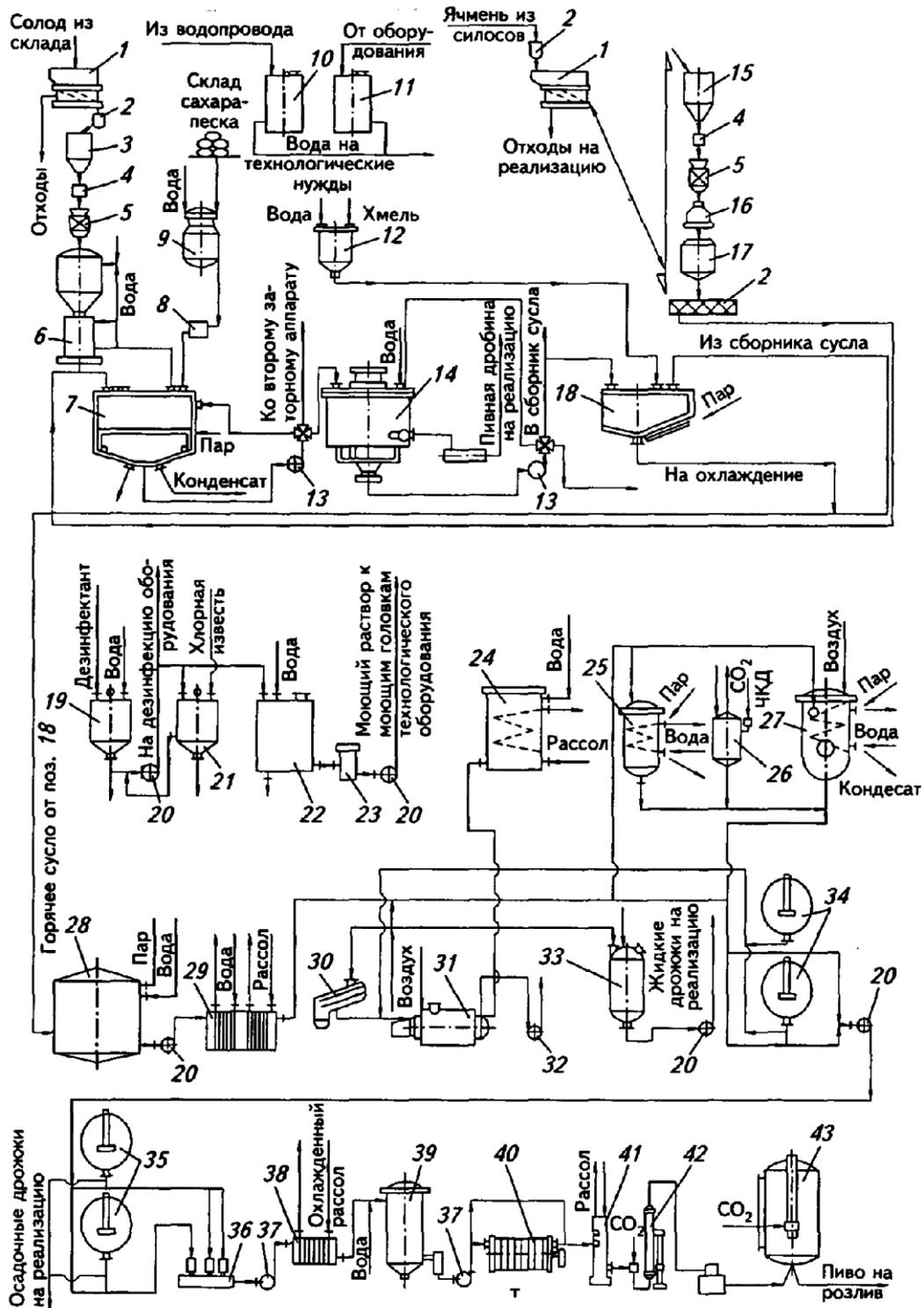


Рис. 1. Машинно-аппаратурная схема производства пива

Дезинфицирующие растворы готовят в сборниках 19, 21 и 22. После фильтрования на фильтре 23 они подаются на дезинфекцию оборудования.

Молодое пиво из аппаратов 34 насосом 20 перекачивают в аппараты для дображивания и созревания (лагерные танки) 35. По окончании дображивания пиво через смесительный фонарь 36 насосом 37 подается для охлаждения в пластинчатый теплообменник 38, а затем для фильтрования в диатомитовый фильтр 39. Сортовое пиво дополнительно фильтруют через картонный фильтр 40 и охлаждают до 1 °С в теплообменнике 41, насыщают оксидом углерода (IV) в карбонизаторе 42 и собирают в сборниках-мерниках 43, откуда оно поступает на розлив.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Приведите классификацию оборудования линии производства пива.
2. Дайте характеристику и опишите машинно-аппаратурную схему производства пива.

## Литература

### *а) основная литература*

1. ЭБС «Znanium»: Зайчик Ц. Р. Технологическое оборудование винодельческих предприятий: учебник / Ц. Р. Зайчик. – 5-е изд., доп. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. – 496 с.: ил.
2. ЭБС «Znanium»: Вобликова Т. В. Процессы и аппараты пищевых производств [Электронный ресурс] : учебное пособие / Т. В. Вобликова, С. Н. Шлыков, А. В. Пермяков. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2013. – 212 с.
3. ЭБС издательство «Лань»: Хозяев И. А. Проектирование технологического оборудования пищевых производств. Учебное пособие. – Изд-во «Лань», 2011. – 272 с.

### *б) дополнительная литература:*

1. БД Труды ученых СТГАУ Технологическое оборудование предприятий бродильной промышленности [электронный полный текст] : учеб.-метод. пособие / сост.: Е. А. Сосюра, Л. С. Кирпичева, Т. Л. Веревкина, М. В. Берлева; СтГАУ. – Ставрополь : АГРУС, 2009. – 104 с. (3,82 Мб.)
2. Зайчик, Ц.Р. Технологическое оборудование винодельческих предприятий : учеб. для вузов / Ц.Р. Зайчик ; 2-е изд., испр. – М. : ДеЛи принт, 2004. – 476 с.
3. Кретов, И. Т. Инженерные расчеты технологического оборудования предприятий бродильной промышленности : учеб. пособие для студентов вузов по направлению "Пищевая инженерия малых предприятий". / И. Т. Кретов. – М. : КолосС, 2006. – 391 с.

## Приложение 1

### Содержание спирта в водно-спиртовой жидкости, в образующемся из нее паре и температура кипения при атмосферном давлении

| Содержание спирта в жидкости |        | Температура кипения, °С | Содержание спирта в паре |        | Содержание спирта в жидкости |        | Температура кипения, °С | Содержание спирта в паре |        |
|------------------------------|--------|-------------------------|--------------------------|--------|------------------------------|--------|-------------------------|--------------------------|--------|
| мас. %                       | мол. % |                         | мас. %                   | мол. % | мас. %                       | мол. % |                         | мас. %                   | мол. % |
| 1                            | 2      | 3                       | 4                        | 5      | 6                            | 7      | 8                       | 9                        | 10     |
| 0,01                         | 0,004  | 99,9                    | 0,13                     | 0,053  | 33,00                        | 16,16  | 84,2                    | 72,5                     | 50,78  |
| 0,10                         | 0,004  | 99,8                    | 1,5                      | 0,51   | 34,00                        | 16,77  | 83,85                   | 72,9                     | 51,27  |
| 0,15                         | 0,055  | 99,7                    | 1,96                     | 0,77   | 35,00                        | 17,41  | 83,75                   | 73,2                     | 51,67  |
| 0,20                         | 0,08   | 99,6                    | 2,6                      | 1,03   | 36,00                        | 18,03  | 83,7                    | 73,5                     | 52,04  |
| 0,30                         | 0,12   | 99,5                    | 3,8                      | 1,57   | 37,00                        | 18,68  | 83,5                    | 73,8                     | 52,43  |
| 0,40                         | 0,16   | 99,4                    | 4,9                      | 1,98   | 38,00                        | 19,34  | 83,4                    | 74,0                     | 52,68  |
| 0,50                         | 0,19   | 99,3                    | 6,1                      | 2,48   | 39,00                        | 20,00  | 83,3                    | 74,3                     | 53,09  |
| 0,60                         | 0,23   | 99,2                    | 7,1                      | 2,90   | 40,00                        | 20,68  | 83,1                    | 74,6                     | 53,46  |
| 0,70                         | 0,27   | 99,1                    | 8,1                      | 3,33   | 41,00                        | 21,38  | 82,95                   | 74,8                     | 53,76  |
| 0,80                         | 0,31   | 99,0                    | 9,0                      | 3,72   | 42,00                        | 22,07  | 82,78                   | 75,1                     | 54,12  |
| 0,90                         | 0,35   | 98,9                    | 9,9                      | 4,12   | 43,00                        | 22,79  | 82,65                   | 75,4                     | 54,53  |
| 1,00                         | 0,39   | 98,75                   | 10,75                    | 4,51   | 44,00                        | 23,51  | 82,5                    | 75,6                     | 54,80  |
| 2,00                         | 0,79   | 97,65                   | 19,7                     | 8,76   | 45,00                        | 24,25  | 82,45                   | 75,9                     | 55,22  |
| 3,00                         | 1,19   | 96,65                   | 27,2                     | 12,75  | 46,00                        | 25,00  | 82,35                   | 76,1                     | 55,48  |
| 4,00                         | 1,61   | 95,8                    | 33,3                     | 16,34  | 47,00                        | 25,75  | 82,3                    | 76,3                     | 55,74  |
| 5,00                         | 2,01   | 94,95                   | 37,0                     | 18,68  | 48,00                        | 26,53  | 82,15                   | 76,5                     | 56,03  |
| 6,00                         | 2,43   | 94,15                   | 41,1                     | 21,45  | 49,00                        | 27,32  | 82,0                    | 76,8                     | 56,44  |
| 7,00                         | 2,86   | 93,35                   | 44,6                     | 23,96  | 50,00                        | 28,12  | 81,9                    | 77,0                     | 56,71  |
| 8,00                         | 3,29   | 92,6                    | 47,6                     | 26,21  | 51,00                        | 28,93  | 81,8                    | 77,3                     | 57,12  |
| 9,00                         | 3,73   | 91,9                    | 50,0                     | 28,12  | 52,00                        | 29,80  | 81,7                    | 77,5                     | 57,41  |
| 10,00                        | 4,16   | 91,3                    | 52,2                     | 29,92  | 53,00                        | 30,61  | 81,6                    | 77,7                     | 57,70  |
| 11,00                        | 4,61   | 90,8                    | 54,1                     | 31,56  | 54,00                        | 31,47  | 81,5                    | 78,0                     | 58,11  |
| 12,00                        | 5,07   | 90,5                    | 55,8                     | 33,06  | 55,00                        | 32,34  | 81,4                    | 78,2                     | 58,39  |
| 13,00                        | 5,51   | 89,7                    | 57,4                     | 34,51  | 56,00                        | 33,24  | 81,3                    | 78,5                     | 58,78  |
| 14,00                        | 5,98   | 89,2                    | 58,8                     | 35,83  | 57,00                        | 34,16  | 81,25                   | 78,7                     | 59,10  |
| 15,00                        | 6,46   | 89,0                    | 60,0                     | 36,98  | 58,00                        | 35,09  | 81,2                    | 79,0                     | 59,55  |
| 16,00                        | 6,86   | 88,3                    | 61,1                     | 38,06  | 59,00                        | 36,02  | 81,1                    | 79,2                     | 59,84  |
| 17,00                        | 7,41   | 87,9                    | 62,2                     | 39,16  | 60,00                        | 36,98  | 81,0                    | 79,5                     | 60,29  |
| 18,00                        | 7,95   | 87,7                    | 63,2                     | 40,18  | 61,00                        | 37,97  | 80,95                   | 79,75                    | 60,58  |
| 19,00                        | 8,41   | 87,4                    | 64,3                     | 41,27  | 62,00                        | 38,95  | 80,85                   | 80,0                     | 61,02  |
| 20,00                        | 8,92   | 87,0                    | 65,0                     | 42,09  | 63,00                        | 40,00  | 80,75                   | 80,3                     | 61,44  |
| 21,00                        | 9,42   | 86,7                    | 65,8                     | 42,94  | 64,00                        | 41,02  | 80,65                   | 80,5                     | 61,76  |
| 22,00                        | 9,93   | 86,4                    | 66,6                     | 43,82  | 65,00                        | 42,09  | 80,6                    | 80,8                     | 62,22  |
| 23,00                        | 10,43  | 86,2                    | 67,3                     | 44,61  | 66,00                        | 43,17  | 80,5                    | 81,0                     | 62,52  |
| 24,00                        | 11,00  | 85,95                   | 68,0                     | 45,41  | 67,00                        | 44,27  | 80,45                   | 81,3                     | 62,99  |
| 25,00                        | 11,53  | 85,7                    | 68,6                     | 46,08  | 68,00                        | 45,41  | 80,4                    | 81,6                     | 63,43  |
| 26,00                        | 12,08  | 85,4                    | 69,3                     | 46,90  | 69,00                        | 46,55  | 80,3                    | 81,9                     | 63,91  |

| <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b>10</b> |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 27,00    | 12,64    | 85,2     | 69,8     | 47,49    | 70,00    | 47,72    | 80,2     | 82,1     | 64,21     |
| 28,00    | 13,19    | 85,0     | 70,3     | 48,08    | 71,00    | 48,92    | 80,1     | 82,4     | 64,70     |
| 29,00    | 13,77    | 84,8     | 70,8     | 48,68    | 72,00    | 50,16    | 80,0     | 82,8     | 65,35     |
| 30,00    | 14,35    | 84,7     | 71,3     | 49,30    | 73,00    | 51,39    | 79,95    | 83,1     | 65,81     |
| 31,00    | 14,95    | 84,5     | 71,7     | 49,77    | 74,00    | 52,68    | 79,85    | 83,4     | 66,28     |
| 32,00    | 15,55    | 84,3     | 72,1     | 50,27    | 75,00    | 54,00    | 79,75    | 83,8     | 66,93     |
| 76,00    | 55,34    | 79,72    | 84,1     | 67,42    | 87,00    | 72,36    | 78,75    | 89,5     | 76,93     |
| 77,00    | 56,71    | 79,7     | 84,5     | 68,07    | 88,00    | 74,15    | 78,65    | 90,1     | 78,00     |
| 78,00    | 58,11    | 79,65    | 84,9     | 68,76    | 89,00    | 75,99    | 78,6     | 90,7     | 79,26     |
| 79,00    | 59,55    | 79,55    | 85,4     | 69,59    | 90,00    | 77,88    | 78,5     | 91,3     | 80,42     |
| 80,00    | 61,02    | 79,5     | 85,8     | 70,29    | 91,00    | 79,82    | 78,4     | 92,0     | 81,83     |
| 81,00    | 62,52    | 79,4     | 86,3     | 71,15    | 92,00    | 81,82    | 78,3     | 92,65    | 83,15     |
| 82,00    | 64,05    | 79,3     | 86,7     | 71,86    | 93,00    | 83,87    | 78,27    | 93,4     | 84,70     |
| 83,00    | 65,64    | 79,2     | 87,5     | 72,71    | 94,00    | 85,97    | 78,2     | 94,2     | 86,40     |
| 84,00    | 67,27    | 79,1     | 87,7     | 73,61    | 95,00    | 88,15    | 78,18    | 95,05    | 88,25     |
| 85,00    | 68,92    | 78,95    | 88,3     | 74,70    | 95,57    | 89,41    | 78,15    | 95,57    | 89,41     |
| 86,00    | 70,62    | 78,85    | 88,9     | 75,81    | -        | -        | -        | -        | -         |

**Длительность цикла сбраживания**

| Вид винома-<br>териалов | Значения, ч, при сбраживании     |                                |                                  |                                  |                                |
|-------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
|                         | сусла<br>по белому способу       |                                | мезги<br>по белому<br>способу    | мезги<br>по красному способу     |                                |
|                         | периодиче-<br>ским спосо-<br>бом | непрерыв-<br>ным спосо-<br>бом | периодиче-<br>ским спосо-<br>бом | периодиче-<br>ским спосо-<br>бом | непрерыв-<br>ным спосо-<br>бом |
| Столовые и шампанские   | 125 – 150                        | 100                            | 150                              | 125 – 150                        | 100                            |
| Полусладкие             | 50                               | 30                             | 75                               | 50                               | 30                             |
| Десертные               | 24                               | 20                             | 24                               | 24                               | 20                             |
| Крепкие                 |                                  |                                |                                  |                                  |                                |
| мадера                  | -                                | -                              | 100                              | 75                               | 50                             |
| портвейн<br>белый       | 75                               | 50                             | 25                               | -                                | -                              |
| портвейн<br>красный     | 75                               | 50                             | 100                              | -                                | -                              |

*Примечание. При выработке материалов с экстрагированием красящих, дубильных и ароматических веществ подброженным суслим продолжительность экстрагирования принимают 14 ч, брожения в потоке – 50 ч.*



Учебное издание

# **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВИНОДЕЛЬЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

*Учебно-методическое пособие  
по проведению лабораторных занятий  
для студентов очной формы обучения  
направления подготовки  
19.03.02 Продукты питания из растительного сырья*

Печатается в авторской редакции

Компьютерная верстка *В.Л. Сыровец*

Ставропольское издательство «Параграф»  
г. Ставрополь, ул. Мира, 278 «Г»  
тел./факс. (8652) 24-55-54  
[www/paragraph.chat.ru](http://www.paragraph.chat.ru)

Подписано в печать 01.02.2016 г.

Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура Times New Roman  
Бумага офсетная. Печать трафаретная.  
Усл. печ. л. 5,12. Уч.-изд. 3,07.  
Тираж 100 экз. Заказ № 16012

Отпечатано в ООО «Ставропольское издательство «Параграф»